



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# OBRÁBENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ A TITANOVÝCH SLITIN

CUTTING OPERATION OF STAINLESS STEELS AND TITANIUM  
SUPERALLOYS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Pavel Tropp

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Pavel Tropp

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Obrábění korozivzdorných ocelí a titanových slitin**

v anglickém jazyce:

### **Cutting operation of stainless steels and titanium superalloys**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled a rozbor těžkoobrobitelných materiálů. Strojové zařízení a nástrojové vybavení ve strojírenských firmách. Posouzení stávajících technologických procesů. Návrh vzorové technologie. Závěrečné posouzení.

Cíle bakalářské práce:

Znalost podmínek pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Orientace v sortimentu vyráběných nástrojů světových firem. Schopnost navrhnout obráběcí proces.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, Petra, Michael Lars George HILL and Miroslav PÍŠKA. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, Miloslav. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. Miroslav Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, Karel. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.
7. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 8.11.2011

L.S.

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce je zaměřena na těžkoobrobitelné materiály, konkrétně korozivzdorné oceli a titanové slitiny, z hlediska obrábění. Obrábění těchto materiálů se liší od běžného obrábění ocelí velkou náročností a nákladností, ale v dnešní době je v průmyslu stále více aktuální. Práce obsahuje rozbor materiálů a způsobů obrábění z hlediska teorie a praxe.

**Klíčová slova**

Těžkoobrobitelné materiály, titan, korozivzdorná ocel, obrábění, nástroje pro obrábění

**ABSTRACT**

This thesis is focused on Superalloys materials, namely stainless steel and titanium alloys, in terms of cutting. Processing of these materials is different from conventional processing steels by great complexity and cost, but in today's industry more topic of the day. This work includes analysis of materials and processing methods in theory and practice.

**Keywords**

Superalloys materials, titanium, stainless steel, machining, machining tools

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TROPP, Pavel. *Obrábění korozivzdorných ocelí a titanových slitin*. Brno 2013. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 40 s. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **OBRÁBENÍ KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ** A vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Pavel Tropp

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Martinu Závodníkovi zaměstnanci Frentech Aerospace za povolení přístupu do výroby firmy a poskytnutí dokumentace k vyráběné součásti pro srovnání teoretického obrábění s praxí.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH .....	7
ÚVOD .....	8
1 TĚŽKOOBROBITELNÉ MATERIÁLY .....	9
1.1 Korozivzdorná ocel .....	9
1.1.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí .....	9
1.1.1.1 Feritické oceli .....	10
1.1.1.2 Austenitické oceli .....	11
1.1.1.3 Martenzitické oceli .....	12
1.1.1.4 Austeniticko-feritické oceli .....	13
1.1.2 Legující prvky korozivzdorných ocelí.....	14
1.2 Titan a jeho slitiny .....	15
1.2.1 Titan ve strojírenství.....	16
1.2.2 Titan jako čistý kov .....	17
1.2.3 Slitiny titanu .....	18
1.2.4 Vliv přísadových prvků .....	19
2 OBROBITELNOST TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ .....	20
2.1 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí .....	21
2.1.1 Vliv legujících prvků na obrobitelnost .....	22
2.1.2 Další vlivy na obrobitelnost.....	23
2.1.3 Nástroje pro obrábění korozivzdorných ocelí .....	24
2.2 Obrobitelnost titanových slitin .....	26
2.2.1 Tvorba třísky při obrábění titanových slitin .....	28
2.2.2 Nástroje pro obrábění titanových slitin .....	30
3 OBRÁBĚNNÍ TĚŽKOOBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ V PRAXI.....	33
4 DISKUZE .....	36
4.1 Návrh vzorové technologie.....	36
ZÁVĚR .....	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	38
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

## ÚVOD

Dle zadání se tato práce zabývá korozivzdornými oceli a titanovými slitinami. Tyto druhy materiálů patří do skupiny těžkoobrobitelných materiálů a jsou to nejčastěji obráběné těžkoobrobitelné materiály v praxi. V práci bude obsažen rozbor materiálů a způsobů jejich obrobení z hlediska teorie a praxe.

Pod pojmem těžkoobrobitelné materiály se skrývá velká škála materiálů, jako jsou například žáruvzdorné slitiny na bázi železa, niklu nebo kobaltu, různé druhy titanových slitin nebo korozivzdorné oceli. Tyto materiály vznikly metalurgickým vývojem s cílem dosáhnout lepšího poměru mezi pevností a hmotností, lepší žáruvzdornosti nebo odolnosti vůči korozi. Cílem tohoto vývoje bylo dosáhnout co nejodolnějších materiálů, avšak s rostoucí odolností rostla také problematika s jejich obráběním.

Korozivzdorná ocel je ocel s velkou odolností vůči zrezivění, je to ocel legovaná a to především chromem (Cr) s minimální obsahem 10,5% chromu. Dále jejich korozivzdornost výrazně zvyšuje obsah niklu (Ni) a molybdenu (Mo) a v menší míře i další prvky např. niob, titan, dusík,.... U korozivzdorných ocelí obecně platí, čím větší podíl legujících prvků, tím náročnější je jejich obrábění. Požadavky na korozivzdornost materiálu v určitých případech zabraňují přidání do oceli potřebného množství přísad zabraňujících tvorbě nárůstku na nástroji.

Titan (Ti) je 10. Nejrozšířenější prvek na zemi. V kombinaci s hliníkem (Al), manganem (Mn), cínem (Sn) nebo vanadem (V) tvoří slitiny, které jsou velmi pevné, mají nízkou hmotnost a skvělou korozivzdornost. Titan se používá v praxi i jako čistý kov. Díky výrazné tvrdosti tohoto kovu a při vyšších teplotách jeho ochotě reagovat s kyslíkem vodíkem nebo uhlíkem je jeho obrábění velmi náročné.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			I	II	III	IV	V	VI	VII	0
<b>H</b>																	He
Li	Be											B	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	<b>Ti</b>	<b>V</b>	<b>Cr</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	Co	<b>Ni</b>	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	<b>Mo</b>	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	<b>Sn</b>	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Db	Jl	Rf	Bh	Hn	Mt									

lanthanoidy:	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
aktinoidy:	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Obr. 1 Periodická soustava prvků – s vyznačením důležitých prvků



## 1 TĚŽKOOBROBITELNÉ MATERIÁLY

Těžkoobrobitelné materiály jsou materiály s lepšími požadovanými vlastnostmi, jako například vyšší pevnost, nižší hmotnost, žárupevnost a další. Obecně lze těžkoobrobitelné materiály rozdělit do tří skupin. Do první skupiny se řadí korozivzdorné materiály, do druhé titan a jeho slitiny a třetí skupina je tvořena slitinami niklu.

### 1.1 Korozivzdorná ocel

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o ocel speciálně zušlechťenou, aby byla co nejvíce odolná vůči působení chemických vlivů. Je to legovaná ocel s nízkým obsahem uhlíku (C) a s minimálním podílem 10,5% chromu (Cr), díky kterému získává oproti nelegovaným ocelím velmi výraznou odolnost vůči zrezivění. Při vyšším obsahu chromu spolu s dalšími legujícími prvky se odolnost vůči korozi dále zvyšuje.<sup>1,6</sup>

Odolnost vůči korozi je způsobena vytvořením tenké povrchové vrstvy, která je schopna zamezit reakci oceli s okolními vlivy, tato schopnost se zvyšuje přidáním dalších legujících prvků a zvyšováním jejich obsahu.<sup>1,6</sup>

Jako legující prvky se nejvíce používají chrom, dále pak nikl (Ni) a molybden (Mo). Tyto prvky se při legování kombinují a tím ještě zvyšují korozivzdornost. Kromě chromu, niklu a molybdenu je možné ocel dolegovávat ještě dalšími prvky, které pozitivně ovlivňují vlastnosti legované oceli. Například niob (Nb) a titan (Ti) zvyšují odolnost proti mezikristalové korozi, dusík (N) zvyšuje pevnost a síra (S) přispívá k lepší obrobitelnosti materiálu. Kombinováním prvků při legování získávají výrobci velkou škálu ocelí s různými užitečnými vlastnostmi.<sup>1,6</sup>

Od roku 1912, kdy byla vyrobena poprvé korozivzdorná ocel, vzniklo nepřeberné množství těchto ocelí a stále jejich vývoj pokračuje. V dnešní době se produkce korozivzdorných ocelí stále zvyšuje a stejně tak se zvyšuje poptávka po těchto materiálech. Z konstrukčního hlediska představuje využití korozivzdorných ocelí zejména v chemickém průmyslu často jediné možné řešení a to především s dnešními rostoucími požadavky na ekologii či hygienu výroby nebo pro větší životnost strojů.<sup>1,6</sup>

#### 1.1.1 Rozdělení korozivzdorných ocelí

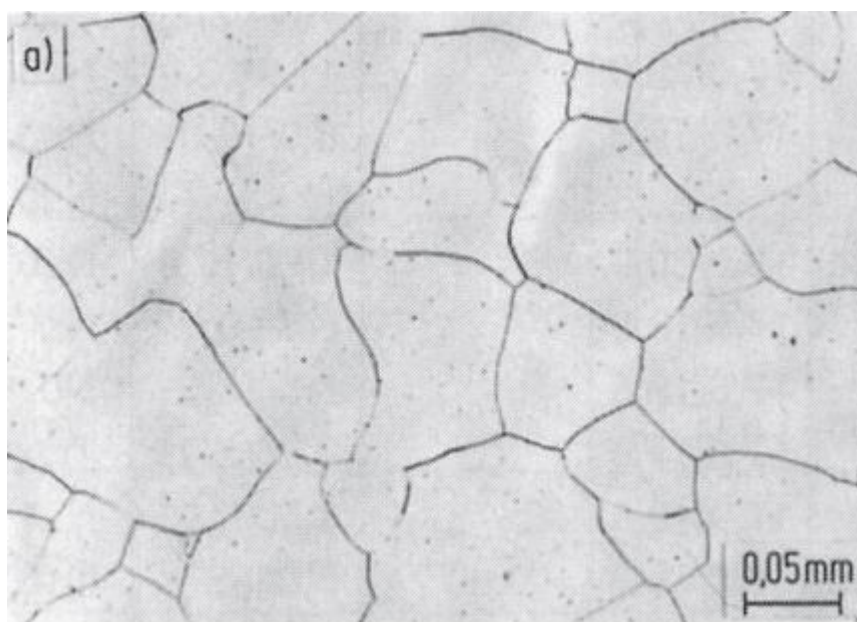
Tab. 1.1 skupiny korozivzdorných ocelí<sup>1,6</sup>

Struktura	Hlavní legující složky
feritická	Cr
martenzitická	Cr, C nebo Ni
austenitická	Cr, Ni, Mo
austeniticko-feritická	Cr, Ni, Mo (vyšší obsahy chromu a nižší obsahy niklu než u austenitických ocelí)

V tabulce číslo 1.1 jsou korozivzdorné oceli rozděleny podle jejich chemického složení do čtyř skupin na feritickou, martenzitickou, austenitickou a austeniticko-feritickou strukturu.<sup>1,6</sup>

#### 1.1.1.1 Feritické oceli

Mechanické vlastnosti Feritických korozivzdorných ocelí předpokládají jemnozrnnou strukturu, které lze dosáhnout až po tepelném zpracování této oceli. Některé oceli mohou obsahovat niob (Nb) nebo titan (Ti), tyto prvky na sebe vážou uhlík a ocel pak má lepší vlastnosti pro svařování a jsou také stabilní proti mezikrystalové korozi.<sup>1</sup>



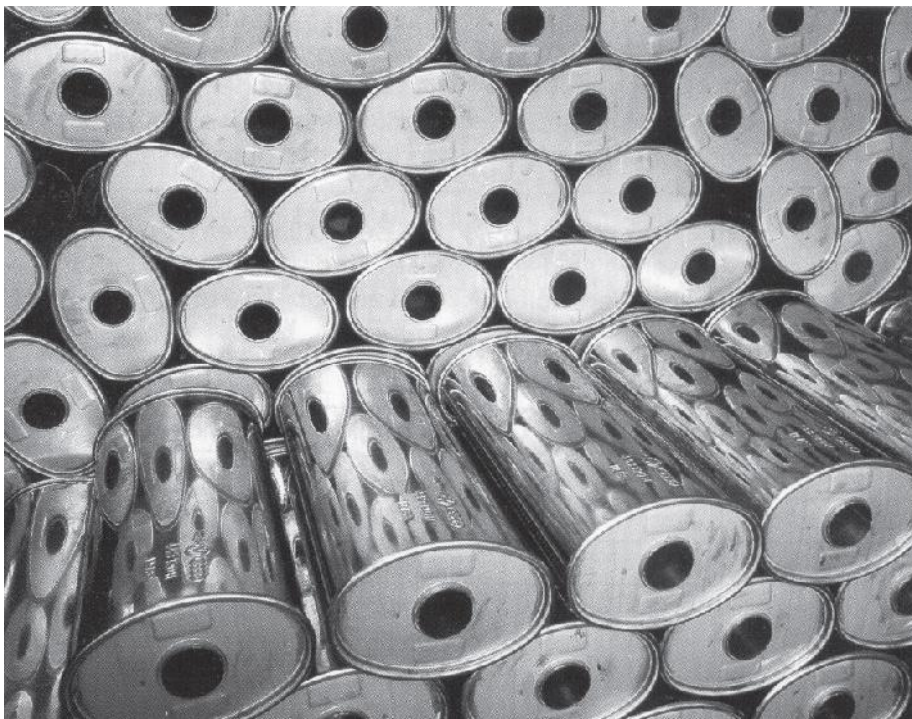
Obr. 1. 1 Jemnozrnná struktura materiálu u feritických korozivzdorných ocelí<sup>1</sup>

Feritické oceli lze hrubě rozdělit do dvou dalších podskupin:

- Korozivzdorná feritická ocel s obsahem chromu 11-13%
- Korozivzdorná feritická ocel s obsahem chromu 17%

U Korozivzdorných feritických ocelí s obsahem chromu 11-13% v důsledku nízkého obsahu chromu je korozivzdornost omezena pouze na např. atmosférické podmínky nebo na vodnatá média a proto jsou tyto oceli zařazovány jako „korozně málo aktivní“. Korozivzdorné feritické oceli s obsahem chromu 17% dosahují díky vyššímu obsahu chromu značně větší odolnosti vůči korozi. Ocel lze ještě dolegovat 1% molybdenem, což ještě zvýší korozivzdornost.<sup>1,6</sup>

Feritické oceli vynikají speciální vlastností a to velmi vysokou odolností proti transkrystalové korozi.<sup>1,6</sup>

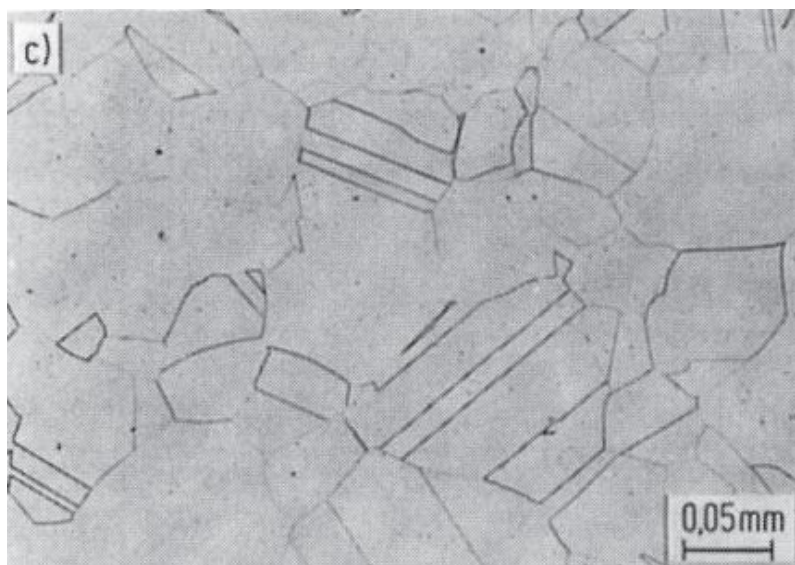


Obr. 1.2 Výfuková zařízení - příklad využití korozivzdorné feritické oceli v praxi<sup>1</sup>

#### 1.1.1.2 Austenitické oceli

Jedná se o nejdůležitější skupinu korozivzdorných ocelí. Jsou to chrom-niklové oceli s obsahem niklu (Ni) 8% jsou dokonalou kombinací zpracovatelnosti, mechanických vlastností a korozní odolnosti a proto se v praxi celkem často používají.<sup>1,6</sup>

Jak u feritických, tak i u austenitických ocelí je pro dobré technologické vlastnosti nezbytná jemnozrnná struktura. U těchto ocelí se jako konečné tepelné zpracování používá rozpouštěcí žhánání při teplotách 1000 až 1150°C s následným ochlazením vzduchem nebo vodou. Na rozdíl od martenzitických korozivzdorných ocelí jsou austenitické oceli nekalitelné.<sup>1,6</sup>



Obr. 1.3 Jemnozrnná struktura materiálu u austenitických ocelí<sup>1</sup>

Oceli mají velmi široké využití a v určitých oblastech je zapotřebí vyšší pevnosti. Toho lze dosáhnout například tvářením za studena, při tvářením za studena však je pravděpodobné očekávat tvorbu deformačního martenzitu.<sup>1,6</sup>

Další možností je zpevňování tuhého roztoku pomocí dolegování. Největší účinek mají prvky uhlík (C) a dusík (N), ale z korozně-chemických důvodů se uhlík v praxi nepřidává, proto se dolegovává především dusíkem. Dusík v oceli zvyšuje nejen pevnost, ale také korozivzdornost.<sup>1,6</sup>

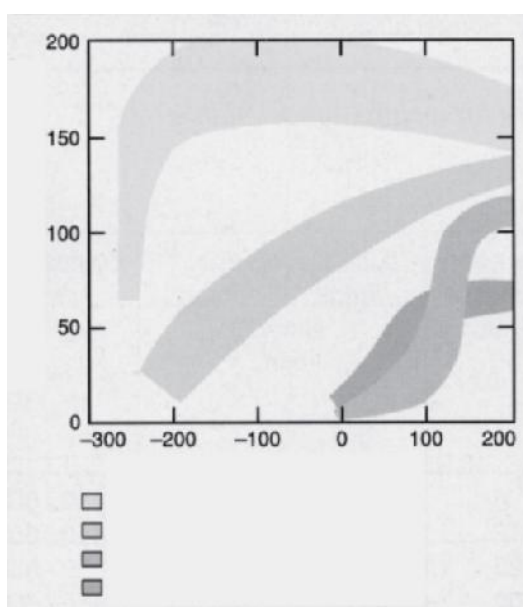
Austenitická ocel má velmi dobrou tvářitelnost za studena, s čehož vyplývá také dobrá hloubková tažnost, schopnost přetahování a také schopnost ohýbání. Speciální vlastností austenitické oceli je, že oceli tažené za studena mohou být používány u zařízení pracících při velmi nízkých teplotách až  $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ .<sup>1,6</sup>

#### 1.1.1.3 Martenzitické oceli

Jde o korozivzdornou ocel o obsahu chromu 12-18% a obsahem uhlíku od 0,1%. Tyto oceli jsou při vysokých teplotách austenitické. Pokud jsou tyto oceli rychle schlazeny, respektive zakaleny, získá se martenzitická struktura. Čím vyšší obsah uhlíku, tím je po zakalení vyšší tvrdost povrchu oceli. Při zušlechťení můžeme dosáhnout vysokých hodnot pevnosti.<sup>1,6</sup>



Obr. 1.4 Struktura martenzitické korozivzdorné oceli<sup>1</sup>



Obr. 1.5 Teplotní křivky rázové práce různých korozivzdorných ocelí (podle R. Oppenheima)<sup>1</sup>

U niklových martenzitických ocelí nahrazuje nikl uhlík při zachování schopnosti zakalení. Může se také ještě zvýšit korozivzdornost dolegováním molybdenem. V praxi se dle tvaru výrobku využívají ocele v žíhaném nebo zušlechtěném stavu. Výrobky, které jsou žíhané na měkko, se pak můžou tepelně tvářet a až po té zušlechtit.<sup>1,6,7</sup>

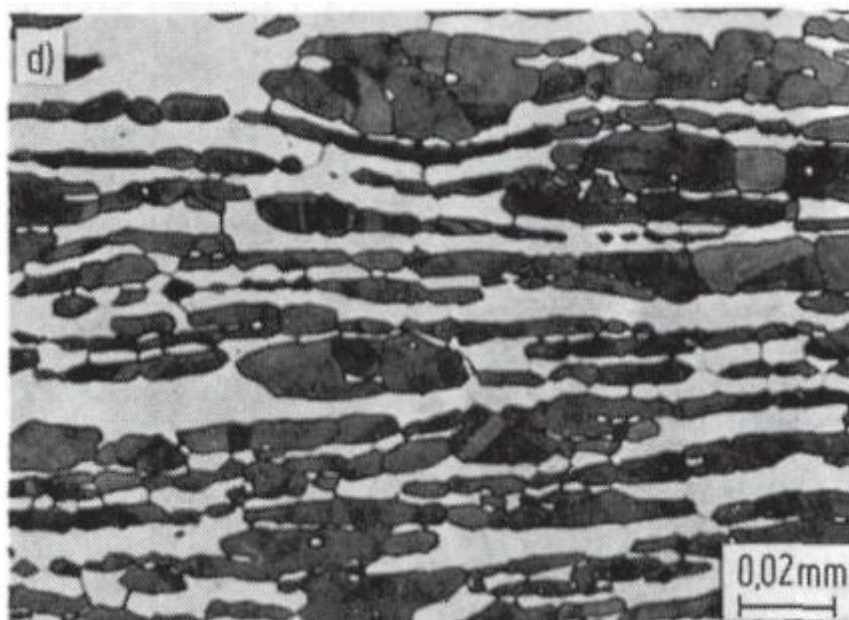
Zušlechtování, tedy kalení a popouštění se provádí při teplotách 650 – 750 °C. Pro dostatečnou korozivzdornost je také velmi důležitá správná úprava povrchu. Speciální vlastnost martenzitických ocelí je jejich vysoká odolnost proti opotřebení a u nástrojů velká trvanlivost bříty.<sup>1,6,7</sup>

#### 1.1.1.4 Austeniticko-feritické oceli

Austeniticko-feritické oceli, často označovány jako „duplexní oceli“, jsou v praxi stále více využívány. Nejpoužívanější s těchto ocelí (1.4462) obsahuje 22% chromu, 5% niklu, 3% molybdenu a dusík. Ocel má dobrou průtažnost, výrazně vyšší než u austenitických ocelí,



dosahuje dobrých hodnot houževnatosti a má dobrou únavovou pevnost a to i v korozivních médiích.<sup>1</sup>



Obr. 1.6 Struktura austeniticko-feritické oceli<sup>1</sup>

Svařitelnost těchto ocelí není nijak výrazná, ale při dodržení technologického postupu je možná. Poslední vývoj austeniticko-feritických ocelí přidal do tabulek nový typ ocelí a to „superduplexní oceli“, které obsahují 25% chromu, 7% niklu a další legující prvky. Tyto oceli jsou zatím nejodolnější vůči korozi mezi korozivzdornými ocelmi.<sup>1</sup>

### 1.1.2 Legující prvky korozivzdorných ocelí

Korozivzdorné oceli obsahují škálu přísadových prvků, které různě ovlivňují jejich vlastnosti. Tyto prvky se dělí do dvou skupin na legující prvky, které tvoří ferit, a na legující prvky, které tvoří austenit.<sup>1,6,7</sup>

Mezi legující prvky tvořící ferit patří chrom, molybden, křemík. Chrom je velmi důležitý legující prvek, v korozivzdorných ocelích je jeho obsah podmínkou korozivzdornosti. Molybden stejně jako chrom podporuje korozivzdornost ocelí, ale na rozdíl od chromu téměř ve všech prostředích a to i proti kyselinám. Dále zvyšuje odolnost proti korozi v hloubce materiálu. Křemík zvyšuje prokalitelnost oceli, ale bývá v oceli zastoupen v malém množství (přibližně 0,5% hm.) a proto je považován z provozního hlediska za nedůležitý.<sup>1,6,7</sup>

Legující prvky tvořící austenit jsou především uhlík, mangan, měď, nikl a dusík. Uhlík je v korozivzdorných ocelích obsažen pouze v malém množství, protože uhlík zhoršuje vlastnosti oceli pro svařování. V dnešní době bývá nahrazován dusíkem, který zvyšuje pevnost. Mangan je nejlevnější legující prvek běžně používaný a má vliv na tvrdost oceli.

Přítomnost niklu v korozivzdorných ocelích zvyšuje odolnost ocelí proti chemickým vlivům, dále zlepšuje tváritelnost, svařitelnost, houževnatost a žárupevnost.<sup>1,6,7</sup>

### 1.2 Titan a jeho slitiny

Titan je 10. Nejrozšířenější prvek v zemské kůře. V historii byl titan strategická surovina, a proto jeho výroba byla tajná. Výroba byla vyvinuta v období studené války a byla soustředěna výhradně do SSSR, později se díky špionáži rozšířila. Je to velmi tvrdý a lehký kov, který nepodléhá korozi. Jeho odolnost však závisí na úpravě povrchu, dokonale vyleštěn odolá za běžné teploty i kyselinám.

Původně byl používán v leteckých motorech, později se objevoval v konstrukcích vojenských letadel. Postupem času se titan začal rozšiřovat i do jiných odvětví průmyslu, než leteckého, především do chemického průmyslu, do medicínského průmyslu a do dalších odvětví.



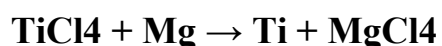
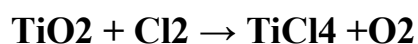
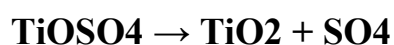
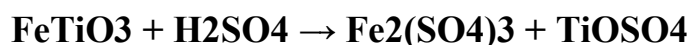
Obr. 1.7 Letoun blackbird – téměř celá konstrukce využívá slitiny titanu<sup>8</sup>



Obr. 1.8 Raketoplán - 85% struktury raketoplánu je tvořeno titanovými slitinami<sup>8</sup>

Výskyt titanu je běžný v hornině Ilmenit, což je tzv. titanát železnatý. Je to klencový materiál, jeho největší naleziště je v Ilmenských horách v Rusku. Jako další nerost obsahující titan můžeme zmínit Rutil. Je to jedna z 3 modifikací oxidu titaničitého běžně se vyskytující v přírodě (jako další jsou uváděny anatas a brookit).<sup>8</sup>

K získání titanu v praxi nelze použít běžných hutních metod. Je to způsobeno jeho vlastností, že za vyšších teplot lehce reaguje s kyslíkem, vodíkem, uhlíkem a dusíkem. Proto se používá tzv. Krollův proces:<sup>8</sup>



Jedná se o redukci par chloridu hořčíkem v argonové atmosféře. S této reakce vznikne šedá pórovitá látka, která se dále čistí podle potřeby do různých stupňů čistoty, až na technicky čistý titan.<sup>8</sup>

### 1.2.1 Titan ve strojírenství

V posledních letech se titan začíná ve větší míře aplikovat v chemickém strojírenství. V praxi jsou to vany, výměníky tepla, filtry, kondenzátory a další. Na povrchu titanu nevznikají usazeniny a jednotlivé díly mohou být tenčí a daleko lehčí než z oceli, kterou v určitých směrech titan předčí až desítnásobně. Dále je titan velmi perspektivním kovem v gumárenském a potravinovém průmyslu.<sup>6</sup>

Jako velmi důležité odvětví pro možné budoucí použití titanových slitin je dopravní průmysl. Za předpokladu, že by se vyráběli jednotlivé díly motoru či dokonce nosné konstrukce automobilu právě z titanových slitin, automobily by se stali mnohem lehčí a vzhledem k lepším pevnostním vlastnostem titanu také výkonnější za značného snížení



nákladů na spotřebu energií. Stejný dopad by to mělo i na ostatní odvětví dopravy jako je na příklad železniční či námořní doprava. V praxi se však od titanových slitin upouští díky jejich vysokým pořizovacím nákladům a náročnosti na zpracování.<sup>6</sup>

Titan se používá v medicíně jako náhražka kloubů či na výrobu chirurgických nástrojů. Díky své biologické inertnosti je titan ideálním prvkem právě pro medicínské účely. Svými vlastnostmi překonává všechny korozivzdorné oceli nebo i kobaltovou slitinu „vitalium“. Titanové náhražky nereagují v agresivním prostředí lidského těla a díky vysoké únavové pevnosti jsou titanové implantáty ideální náhražkou kostí.<sup>6</sup>

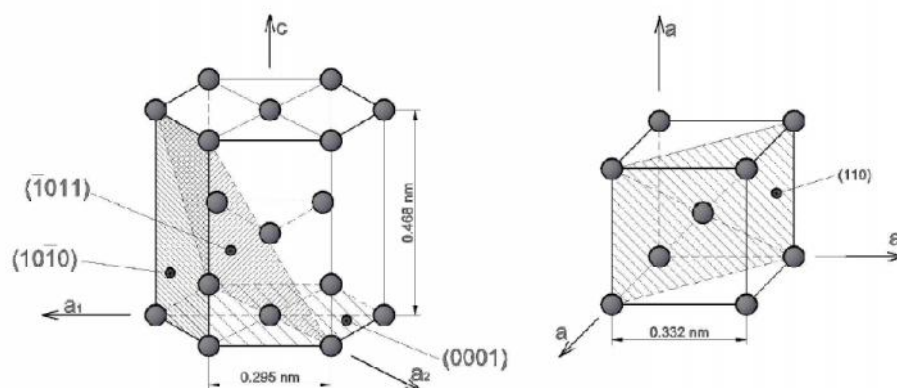
Dle dnešního trendu se titan již stává v mnoha odvětvích nenahraditelným prvkem. V blízké budoucnosti dle prognóz objem výroby titanu vyroste až na 1 mil. tun ročně. Vůči objemu výroby ostatních kovů to není příliš výrazné, což je způsobeno především vysokými náklady na výrobu titanu. Nejdražší položkou je přetavení titanové rudy (75-80% ceny). V blízké budoucnosti je širší využívání titanu reálné a velmi pravděpodobné.<sup>6</sup>

### 1.2.2 Titan jako čistý kov

Titan je polymorfní kov, který se vyskytuje ve 2 základních alotropických modifikacích:

- modifikace  $\alpha$  – mřížka hexagonální HCP – tato modifikace je stabilní do teplot až 882 °C
- modifikace  $\beta$  – mřížka kubická plošně středěná BCC – stabilní při teplotě od 882 °C do 1668 °C

Obsazení těchto modifikací je závislé na teplotě a přísadových prvcích, u čistého titanu nečistot.<sup>8</sup>



Obr. 1.9 Krystalické mřížky čistého titanu – vlevo fáze  $\alpha$  a vpravo fáze  $\beta$ <sup>8</sup>

Titan obecně má špatné tvářecí vlastnosti, při tváření se zadírá, obrobitelnost je horší než u ostatních kovů, protože povrch obrobku bývá křehký díky kyslíku a dusíku a jeho nízká tepelná vodivost způsobuje nalepování na břit nástroje při obrábění. Jako nástroje pro obrábění se především používají nástroje s karbidovými břity, pro soustružení se také využívají břity z nitridu bóru a keramiky. Lze využít i rychlořeznou ocel (HSS), ale ta se v praxi využívá pouze výjimečně.<sup>8</sup>

Jako hlavní přednost titanu je nejvyšší poměr mezi pevností a hustotou ze všech kovových materiálů. Dále pak vysoká odolnost vůči korozi a možnost využívání i pod bodem mrazu. Naopak jako největší nevýhoda titanu jsou vysoké náklady na jeho výrobu a zpracování. Díky jeho vlastnosti reagovat s okolím při teplotách nad 700 °C se musí odlévat ve vakuu nebo ochranné argonové atmosféře.<sup>8</sup>

### 1.2.3 Slitiny titanu

Slitiny titanu jsou rozděleny dle rozpustnosti jednotlivých přísad ve fázích  $\alpha$  a  $\beta$  a také dle stabilizačního vlivu těchto přísad na slitinu.

#### - Slitiny $\alpha$ a pseudo slitiny $\alpha$

Hmotnostní obsah fáze  $\alpha$  je zde majoritní, fáze  $\beta$  se zde vyskytuje až 6% a tudíž fáze  $\alpha$  zbytek. Tyto slitiny mají nízkou hmotnost a vykazují dobrou odolnost vůči křehkému potečení. Jsou velmi korozivzdorné a nejlepší z hlediska tváření mezi slitinami titanu. Běžně jsou využívány v letectví a kosmonautice. Prvky stabilizující tyto slitiny: hliník, dusík, uhlík a kyslík.

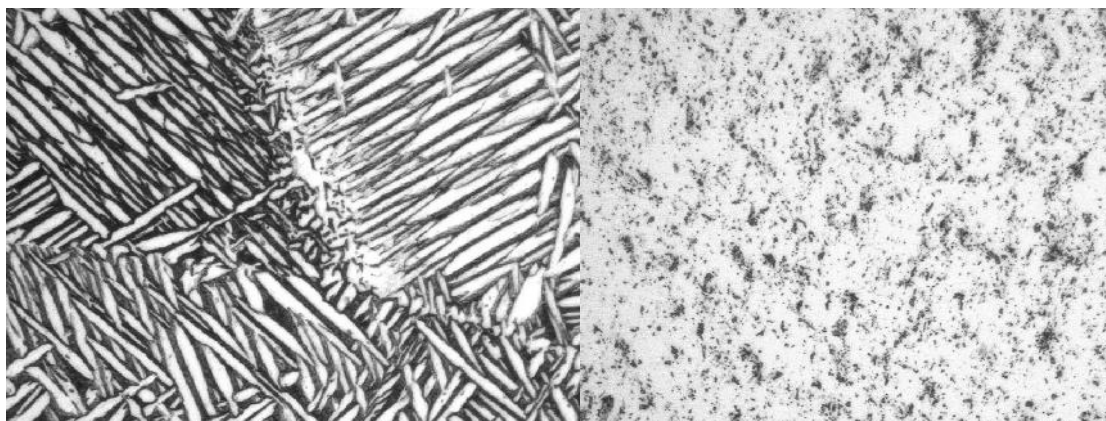
#### - Slitiny $\beta$ a pseudo slitiny $\beta$

Na rozdíl oproti slitinám  $\alpha$  obsahují majoritní množství fáze  $\beta$ . Tyto slitiny se vyznačují extrémní pevností, po tepelném zpracování můžeme dosáhnout pevnosti až 1500 MPa. Jejich nevýhodou je vysoká měrná hmotnost a vyšší cena. V praxi se využívají jako žárovevné materiály. Prvky stabilizující slitiny  $\beta$  jsou molybden, niob, tantal a vanad.

#### - Slitiny $\alpha+\beta$

U těchto slitin je hmotnostní podíl obou fází vysoký. Patří sem největší podíl slitin titanu. Patří sem slitina Ti-6Al-4V, vyvinuta v 50. letech minulého století, první slitina, která byla hromadně produkována a do dnes nejpoužívanější titanová slitina vůbec, z více jak 50% výroby je využívána právě tato slitina. Slitina má příznivou kombinaci užitečných vlastností, dobrou zpracovatelnost, mechanické vlastnosti i svařitelnost. Nevýhodou této slitiny je omezená teplota použití pouze do 450 °C. Další slitiny  $\alpha+\beta$  byly vyvinuty kvůli jejich vysoké pevnosti a tuhosti. Využívají se běžně na lopatky turbín, kompresory a

součásti leteckých podvozků. Stabilizační prvky: mangan, železo, chrom, křemík, stříbro a vodík.<sup>8</sup>



Obr. 1.10 Mikrostruktura  $\alpha$  titanu (vlevo) a  $\beta$  titanu (vpravo)<sup>8</sup>

#### 1.2.4 Vliv přísadových prvků

##### Hliník (Al)

Titanové slitiny s hliníkem jsou pravděpodobně pro průmysl nejdůležitější titanové slitiny. Stačí již malé množství hliníku a zvýší se u slitiny žárupevnost a sníží se hmotnost a cena. Je to vynikající legující prvek, který slitinu stabilizuje, zvyšuje pevnost, houževnatost, žáruvzdornost a zlepšuje modul pružnosti.

##### Železo (Fe)

Neznámější slitina titanu a železa je ferotitan. Běžně se tyto slitiny přidávají do oceli, jelikož mají dobrou schopnost odkysličovat ji.

##### Měď (Cu)

Měď zvyšuje stabilitu a žárupevnost a to již v malém hmotnostním poměru.

##### Mangan (Mn)

Přidáním manganu do slitiny titanu se zvýší pevnost slitiny a zlepší se plastičnost. Mangan je levný a používá se jako legující prvek titanových slitin určených pro válcování.

##### Molybden (Mo) a chrom (Cr)

Molybden brání nestabilitě slitiny a chrom způsobuje křehkost při vyšších teplotách. Přidáním obou těchto prvků zvyšujeme pevnost a žárupevnost. Tyto slitiny mohou být až tisíckrát odolnější vůči chemickým vlivům než čistý titan.<sup>8</sup>

## 2 OBROBITELNOST TĚŽKO OBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ

Obrobitelnost je vlastnost materiálů, kterou lze hodnotit podle toho, jak náročné pro nás je vyrobit součást z daného materiálu. Obrobitelnost není měřitelná jednotka, je to součinitel, který se hodnotí podle spousty faktorů, řezných podmínek, tepelného zpracování, geometrii nástroje a dalších důležitých faktorů. Do výpočtu se zahrnuje jak časové, tak i ekonomické hledisko, které se v dnešní době stává u výrobců čím dál důležitější. Jako dobře obrobitelný materiál se považuje materiál, který umožňuje vysoké řezné rychlosti, nízké náklady, dlouhou životnost nástroje, vysokou jakost povrchu a vysokou přesnost rozměrů obrobku. Na konec vyjde tzv. stupeň obrobitelnosti, který se dá považovat za univerzální měřítko pro obrobitelnost materiálů pro všechny obráběcí operace, ale není možné jej schopni vyčíslit.<sup>1,2,6</sup>

Pro určení stupně obrobitelnosti se používají tzv. zkoušky obrobitelnosti. Tyto zkoušky se dělí na dva typy, na zkoušky krátké a zkoušky dlouhé. Zkoušky dlouhé jsou daleko objektivnější, ale zabírají mnohem více času. Kritériem obrobitelnosti je velikost řezné rychlosti a zkouška se provádí frézováním nebo soustružením. Zkoušky krátké jsou méně objektivní, ale jsou rychlé a proto se používají k rychlému rozdělení materiálů do skupin podle obrobitelnosti.<sup>1,2,6</sup>

Další s charakteristik obrobitelnosti je Taylorův vztah, pomocí kterého lze určit optimální obráběcí podmínky.<sup>1,2,6</sup>

$$i = \frac{v_{cT}}{v_{cTet}} \quad [-]$$

kde:

$v_{cT}$  řezná rychlost při určité trvanlivosti břitu [m.min<sup>-1</sup>]

$v_{cT}^{et}$  řezná rychlost odpovídající etalonovému materiálu [m.min<sup>-1</sup>]

Z výše uvedeného vztahu vyjde tzv. index obrobitelnosti a na jeho základě můžeme materiál rozdělit do skupin obrobitelnosti. Vztah vyjadřuje porovnání obráběného materiálu s daným etalonem.<sup>2</sup>

Dle státních norem a normativů je každý materiál podle jeho obrobitelnosti rozdělen do devíti skupin označených písmeny a slouží pro porovnávání obrobitelnosti:

- a) litiny
- b) oceli
- c) těžké neželezné kovy, měď a slitiny mědi
- d) lehké neželezné kovy, hliník a slitiny hliníku
- e) plastické hmoty

- f) přírodní nerostné hmoty
- g) vrstvené hmoty
- h) pryže
- v) tvrzené litiny pro výrobu válců

Pro porovnání obrobitelnosti se však dá využít i jiných kritérií než porovnání řezných rychlostí, jako je například utváření třísky, drsnost povrchu, tvorba nárůstku, spotřeby energie a další. Stále se jedná o stejný princip o porovnání obráběného materiálu s etalonem.<sup>2</sup>

Důležité faktory ovlivňující obrobitelnost:

- způsob výroby a tepelné zpracování obráběného materiálu
- struktura obráběného materiálu
- chemické složení obráběného materiálu
- metoda obrábění
- řezné podmínky
- fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného materiálu
- řezné prostředí
- geometrie nástroje
- druh a vlastnosti nástrojového materiálu<sup>2</sup>

## 2.1 Obrobitelnost korozivzdorných ocelí

Obrobitelnost korozivzdorných ocelí je proměnná, protože požadavky kladené na korozivzdornost a pevnost se zvyšují, čímž se obrobitelnost zhoršuje. U běžných ocelí se problém s horší obrobitelností řeší přidáním síry, ale to bohužel snižuje korozivzdornost, proto se u korozivzdorných ocelí toto řešení nevyužívá. Z hlediska obrobitelnosti se ukázali jako výhodné popuštěné, za studena tažené oceli, především měkké austenitické a feritické.<sup>7,2,1</sup>

Jako dobře obrobitelné korozivzdorné oceli se považují oceli feritické, které se dají srovnat s nízkolegovanými konstrukčními ocelmi. Stejně dobrá obrobitelnost je i u ocelí martenzitických, ale pouze za podmínky nízkého obsahu chromu nebo uhlíku. Z martenzitických ocelí má nejlepší obrobitelnost martenzitická ocel s obsahem 13% chromu a velmi nízkým obsahem uhlíku. Pokud je obsah chromu a uhlíku vyšší, tak se obrobitelnost zhoršuje a ž po oceli s vysokým obsahem uhlíku (až 1,0%) působí abrazivně vzhledem ke sklonu k tvoření karbidů.<sup>7,2,1</sup>

Austenitické oceli se považují mezi korozivzdornými ocelmi za těžko obrobitelné a to hlavně díky jejich velkému sklonu ke zpevňování za studena, nízkou tepelnou vodivostí a dobrou houževnatostí.<sup>7,2,1</sup>

Největším problémem z hlediska obrobitelnosti je především rychlé opotřebování řezného nástroje, dále pak špatné lámání třísek a odchod třísek. K poškození nástroje nedochází pouze díky opotřebení, ale také poškození řezné hrany ať už praskáním nebo vylamováním. Z tohoto důvodu mají nástroje určené pro obrábění korozivzdorné oceli speciální geometrii a především ostrou řeznou hranu.<sup>7,2,1</sup>

Například u vrtání se jedná o ostřejší geometrii úhlu čela, u fréz pak o pozitivní úhel čela a mírnější úhel šroubovice. U soustružení však nestačí pouze vhodnější geometrie, ale je důležité zvolit správný karbid a utvářeč třísky musí mít širší aplikační pole.<sup>7,2,1</sup>

### 2.1.1 Vliv legujících prvků na obrobitelnost

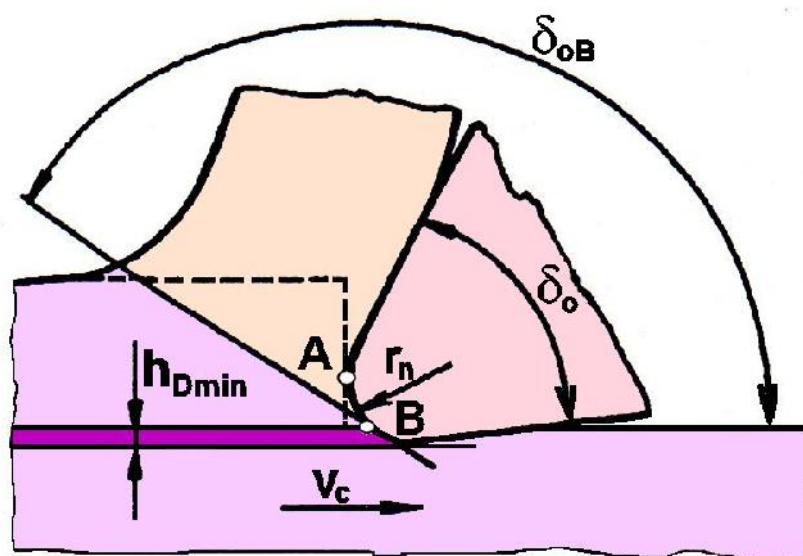
Jeden z velmi důležitých faktorů obrobitelnosti je právě chemické složení materiálu. Přidáním respektive dolegováním oceli určitým prvkem lze vcelku zásadně ovlivnit vlastnosti oceli a tudíž i obrobitelnost.

- Síra – Z hlediska obrobitelnosti zásadní prvek, ve spojení s manganem vytvoří sulfid manganu, což příznivě ovlivňuje obrobitelnost (tvorba třísky, menší opotřebení nástroje a lepší kvalita obráběné plochy). Běžně se přidává do běžných ocelí pro zlepšení obrobitelnosti, ale zároveň snižuje odolnost oceli proti chemickým vlivům respektive korozi, což je u korozivzdorných ocelí nechtěný efekt.
- Mangan – Jak již zde bylo výše, zmíněno ve spojení se sírou příznivě ovlivňuje obrobitelnost, ale pouze u nízkouhlíkových ocelí, při vyšším obsahu uhlíku v oceli ovlivňuje obrobitelnost spíše negativně (velké opotřebování nástrojů).
- Titan a Vanad – Tyto prvky mají vliv na strukturu materiálu, s čehož vyplývá, že i na řezné síly.
- Selen – Využívá se jako alternativní prvek místo síry, má podobné vlastnosti, ale méně výrazné.
- Fosfor – Může mít pozitivní vliv na obrobitelnost, ale pouze v malém množství, kdy zajistí krátké třísky. Při vyšším obsahu fosforu vzrůstá opotřebení nástroje.
- Nikl – Má nepříznivý vliv na obrobitelnost, protože zvyšuje pevnost a houževnatost materiálu.
- Chrom – Nedílná součást korozivzdorných ocelí. Vzhledem ke skutečnosti že podmínkou korozivzdornosti je jeho cca 12% obsah, tak jej všechny korozivzdorné oceli obsahují poměrně větší množství. Díky svým vlastnostem však působí negativně na obrobitelnost oceli, jelikož snižuje její tepelnou vodivost a to zvyšuje opotřebení nástroje a tvorbu nárůstku.<sup>7,1</sup>

### 2.1.2 Další vlivy na obrobiteľnosť

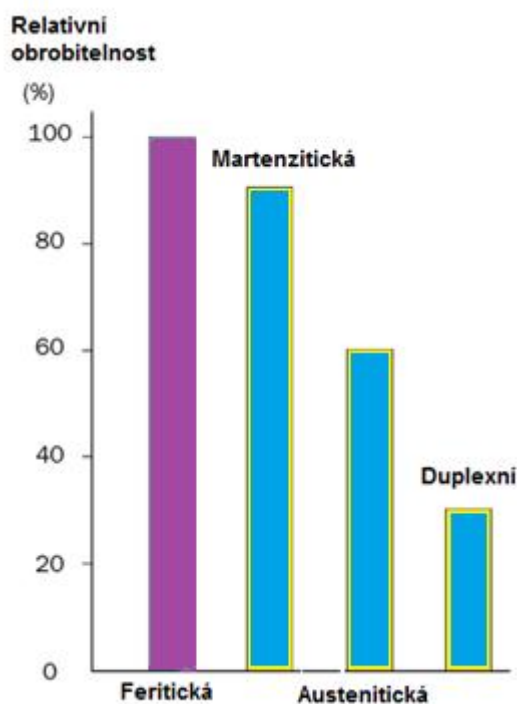
Obrobiteľnosť neovlivňuje iba chemické zloženie materiálu, ale tiež spousta ďalších vlivů. Jedná sa o mechanické a fyzikálne vlastnosti obráběného materiálu, ktoré majú významný vliv na obrobiteľnosť korozivzdorných ocelí.<sup>2,1</sup>

- Tepelná vodivosť – Jak již zde bylo zmíněno, korozivzdorné oceli obsahujú pomerne veľké množstvo chromu, ktorý výrazne snižuje jejich tepelnou vodivosť. Díky tomu se teplo špatně odvádí z místa tvorění třísky, čímž se v místě řezu výrazně zvyšuje teplota a dochází k plastickej deformaci obráběcího nástroje.<sup>2</sup>
- Adheze – tato vlastnosť má priamu spojitosť s tepelnou vodivosťou materiálu, pretože díky vysokej teplote v mieste řezu dochází k tvorbe nárustku na břitze nástroje, čož spôsobuje snižovanie kvality obrobeného povrchu obrobku.<sup>2</sup>
- Zpevňovanie – Zpevňovanie je spôsobeno skutočnosťou, že ostrie obráběcího nástroje není tvořeno úsečnou, nýbrž časťou valcového plochy o poloměru  $r_n = 5$  až  $20 \mu\text{m}$ . Díky tomu v mieste řezu vzniká negatívny úhel čela i úhel řezu a obrobený povrch obrobku nevzniká iba obráběním, ale i tvářením. Při tomto procese se rapídne zvyšuje tvrdosť povrchu, ktorá môže byť 400 až 500 HB s hĺbkou 0,1mm.<sup>2</sup>



Obr. 2.1 Vliv zaoblení ostří na povrch obrobku<sup>2</sup>

Relativní obrobitelnost je zobrazena na Obr. 2.2, kde jsou korozivzdorné oceli seřazeny podle obrobitelnosti. Jako 100% obrobitelné se zde uvažují feritické oceli.



Obr. 2.2 Relativní obrobitelnost korozivzdorných ocelí<sup>3</sup>

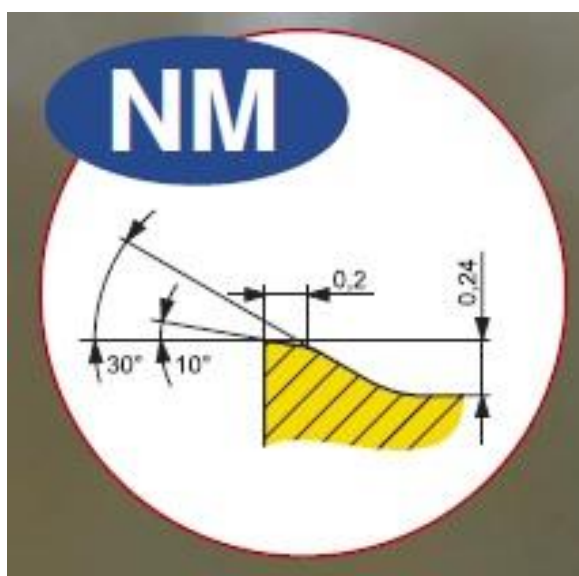
### 2.1.3 Nástroje pro obrábění korozivzdorných ocelí

Na dnešním trhu je nepřeberné množství různých producentů obráběcích nástrojů, daleko méně jich je však v oblasti obráběcích nástrojů pro obrábění korozivzdorných ocelí.

Pro obrábění korozivzdorných ocelí se v praxi jako nejběžnější materiál nástrojů používají různé druhy karbidů. Nástroj pro obrábění těchto ocelí musí být speciálně upraven dle požadované geometrie. Při samotném obrábění se klade velmi velký důraz na správné chlazení nástroje a stabilně upnutý nástroj. Jako přednostní by se měli využívat nástroje modulární s vysokou tuhostí.<sup>4</sup>

Jako příklad firma Pramet Tools, spol. s r.o., český výrobce obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu, nabízí řadu NM utvařečů vhodných pro soustružení korozivzdorných ocelí. Je to díky pozitivní geometrii břitu. Dále firma pramet udává u těchto utvařečů nízké řezné síly, nižší řezný odpor, jsou vhodné pro vyšší řezné rychlosti a díky tomu je možná rychlá produktivita práce.<sup>4</sup>



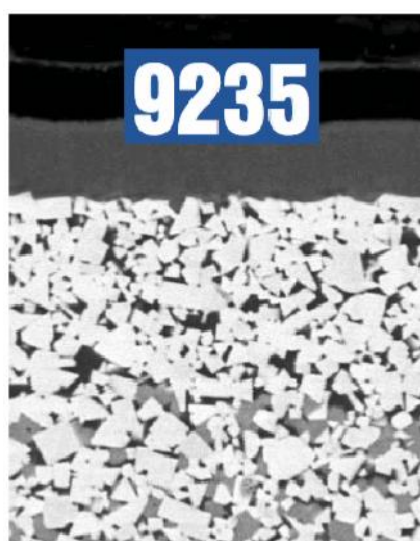
Obr. 2.3 Geometrie utvařeče NM od firmy Pramet Tools, spol s.r.o.<sup>4</sup>

Utvařeče se vyrábějí v několika provedeních, viz tabulka 2.1, kde je přehled vyráběných utvařečů tohoto typu a přehled rozsahu posuvu a hloubky řezu v závislosti na skupině obráběného materiálu. Pro řešené korozivzdorné oceli je určena skupina M. V této skupině se hodnoty posuvu pohybují v rozsahu 0,15 až 0,30 mm.ot<sup>-1</sup> a hloubka řezu od 0,5 až 3,5 mm.<sup>4</sup>

Tab. 2.1 Přehled utvařečů NM od firmy Pramet Tools, spol s.r.o.<sup>4</sup>

Utvařeč	Označení ISO	Materiál			P/K		M		N		S	
		9230	9235	8030	posuv f [mm.ot <sup>-1</sup> ]	hloubka řezu a <sub>p</sub> [mm]	posuv f [mm.ot <sup>-1</sup> ]	hloubka řezu a <sub>p</sub> [mm]	posuv f [mm.ot <sup>-1</sup> ]	hloubka řezu a <sub>p</sub> [mm]	posuv f [mm.ot <sup>-1</sup> ]	hloubka řezu a <sub>p</sub> [mm]
CNMG		●	●	●	0,15 ÷ 0,30	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,23	0,5 ÷ 2,3	0,15 ÷ 0,30	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 2,3	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,24	0,8 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,7	-	-	0,20 ÷ 0,24	1,2 ÷ 2,1
		●	●	●	0,25 ÷ 0,50	0,8 ÷ 5,0	0,25 ÷ 0,38	0,8 ÷ 3,8	-	-	0,25 ÷ 0,30	0,8 ÷ 3,0
		●	●	●	0,25 ÷ 0,50	1,2 ÷ 5,0	0,25 ÷ 0,38	1,2 ÷ 3,8	-	-	0,25 ÷ 0,30	1,2 ÷ 3,0
		●	●	●	0,30 ÷ 0,50	1,2 ÷ 8,0	0,30 ÷ 0,38	1,2 ÷ 6,0	-	-	0,30 ÷ 0,38	1,2 ÷ 4,8
DNMG		●	●	●	0,15 ÷ 0,24	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 2,3	-	-	0,20 ÷ 0,24	0,8 ÷ 1,8
		●	●	●	0,15 ÷ 0,24	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 2,3	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,24	0,8 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,24	1,2 ÷ 2,1
		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,38	0,8 ÷ 2,3	-	-	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 1,8
SNMG		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,38	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,1
		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,38	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,1
TNMG		●	●	●	0,15 ÷ 0,24	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	1,0 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	1,0 ÷ 2,3	-	-	0,20 ÷ 0,24	1,0 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	1,0 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,30	1,0 ÷ 2,6	0,20 ÷ 0,40	1,0 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,24	1,0 ÷ 2,1
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,24	1,2 ÷ 2,1
VNMG		●	●	●	0,15 ÷ 0,20	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,20	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,20	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 2,3	-	-	0,20 ÷ 0,24	0,8 ÷ 1,8
WNMG		●	●	●	0,15 ÷ 0,30	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,23	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,40	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 2,3	-	-	0,20 ÷ 0,24	0,8 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,38	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,1
		●	●	●	0,15 ÷ 0,30	0,5 ÷ 3,0	0,15 ÷ 0,23	0,5 ÷ 2,3	-	-	0,15 ÷ 0,18	0,5 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,38	0,8 ÷ 2,3	0,20 ÷ 0,50	0,8 ÷ 3,0	0,20 ÷ 0,30	0,8 ÷ 1,8
		●	●	●	0,20 ÷ 0,50	1,2 ÷ 3,5	0,20 ÷ 0,38	1,2 ÷ 2,6	-	-	0,20 ÷ 0,30	1,2 ÷ 2,1

Utvařeče se vyrábí ze tří různých materiálů označených 9235, 9230 a 8030. Každý z těchto materiálů je ručen pro obrábění různých tříd materiálů. Materiál 8030 je vhodný pro obrábění s přerušovaným řezem, materiál 9230 je univerzální materiál z řady 9000, vhodný pro obrábění nízkouhlíkových ocelí. Pro námi řešené korozivzdorné oceli se doporučuje materiál 9235, je to nehouževnatější materiál z řady 9000, který vyniká svou otěruvzdorností a teplotní stálostí bříty. Materiál je tvořen základním houževnatým substrátem s gradientní povrchovou vrstvou, která zabraňuje vzniku a šíření trhlin v podkladovém materiálu, na podkladu je vrstva speciálního středě silného povlaku MT-CVD, který obsahuje vysoce chemicky a tepelně stálou vrstvu  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> napomáhající otěruvzdornosti. Jako poslední je velmi otěruvzdorná vrstva Ti(C,N), která zajišťuje vynikající adhezi povrchu.<sup>4</sup>



Obr. 2.4 Průřez materiálem s označením 9235 firmy Pramet Tools, spol s.r.o.<sup>4</sup>

## 2.2 Obrobitelnost titanových slitin

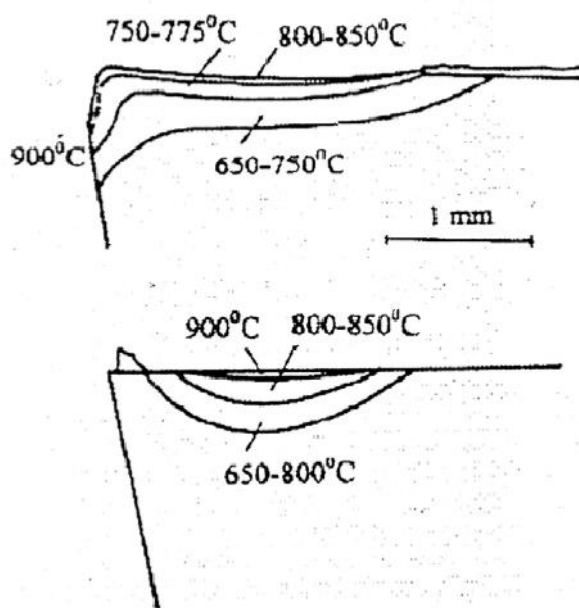
Jak zde již bylo zmiňováno, titan patří mezi do budoucna perspektivní materiály a to díky své pevnosti, odolnosti proti chemickým vlivům, otěruvzdornosti a především díky své nízké hmotnosti. Ale také díky těmto vlastnostem, také pak díky malému modulu pružnosti a špatné tepelné vodivosti, je velmi složité titan obrobit a už vůbec to nezjednodušuje jeho ochota reagovat s kyslíkem a dusíkem při vyšších teplotách.<sup>5,9</sup>

Díky složitosti obrábění titanových slitin, je kladen velký důraz na obráběcí nástroj z hlediska opotřebení. Trvanlivost nástrojů při obrábění titanových slitin je daleko menší než při obrábění běžné oceli, ale na druhou stranu řezné síly a spotřebovaný výkon je daleko menší. Menší síly jsou způsobeny malou plochou styku mezi třískou a čelem nástroje. Tříska je velmi tenká a záhy po jejím oddělení se začne drolit na elementy (segmenty), které vznikají díky tření mezi čelem nástroje a třískou. Teplota, které zle dosáhnout díky špatné tepelné vodivosti v místě styku materiál s ostřím se může dostat až k bodu, kdy dochází k přehřívání a plastické deformaci ostří. Se zvyšující se řeznou

rychlostí se teplota stále zvyšuje, což má za následek další opotřebovávání nástroje až po dosažení kritické teploty a po jejím dosažení se ostří zbortí.<sup>5,9</sup>

Takže opotřebení nástroje probíhá zvětšováním poloměru špičky nástroje. Je to tedy běžné opotřebení přičemž nejvíce tepla při obrábění se koncentruje ve špičce nástroje díky špatné vodivosti titanu, který neodvádí všechno teplo do třísky, nýbrž do obráběcího nástroje.

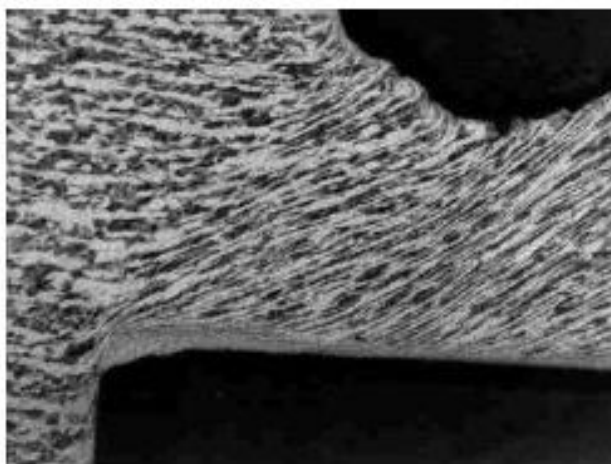
Vzhledem k závislosti řezné rychlosti a tepelné deformaci, se v praxi horní hranice řezných rychlostí pohybuje kolem  $60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .<sup>5,9</sup>



Obr. 2.5 Srovnání opotřebování nástroj při obrábění titanu (horní) a niklu (spodní)<sup>5,9</sup>

Další nechtěná vlastnost při obrábění titanu je tvorba segmentových třísek. Segmentová tříska vzniká za určitých řezných podmínek u obrábění titanových slitin díky vibracím nástroje vzniklých při obrábění vlivem nerovnoměrné plastické deformace v oblasti primárních deformací. Při dnešních trendech zvyšovat efektivitu obrábění titanu pro snížení nákladu je tedy kladen důraz i na vysokou tuhost nástroje pro eliminování co největšího rozsahu vibrací. V praxi je ve většině případů jediné možné řešení snížení řezných sil, což má však efekt na zvýšení nákladů.<sup>9</sup>

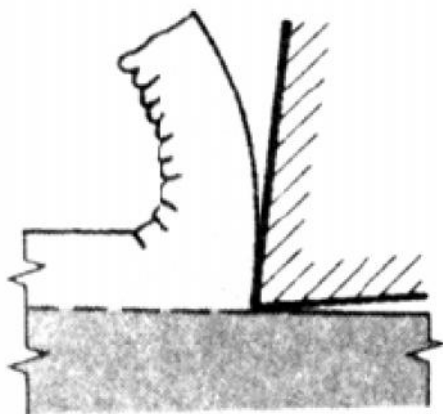
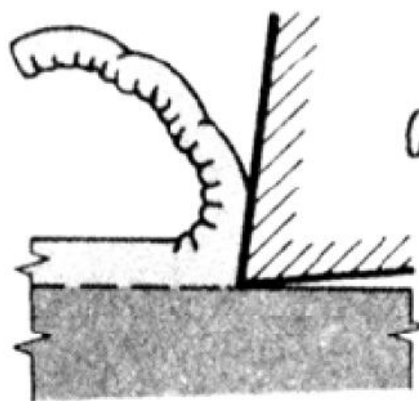
Typický pohled na proces tvoření třísky je na obrázku 2.6, je zde dobře viditelná hranice plastické deformace a nástroje a obrobku, texturu v tříске a pásma intenzivní plastické deformace nad čelem nástroje.<sup>9</sup>

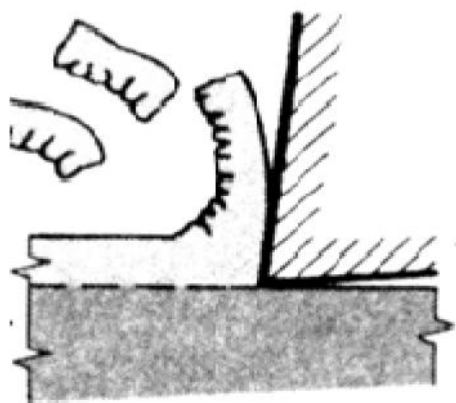
Obr. 2.6 Metalografický výbrus obráběného materiálu<sup>9</sup>

Při obrábění titanových slitin vzniká periodicky opakovaný adiabatický smyk. Tvorba segmentových třísek tedy souvisí s nestabilním charakterem deformace, který závisí na průběhu dvou mechanismů, na snížení pevnosti vlivem ohřevu ze tření a na deformačním zpevnění.<sup>9</sup>

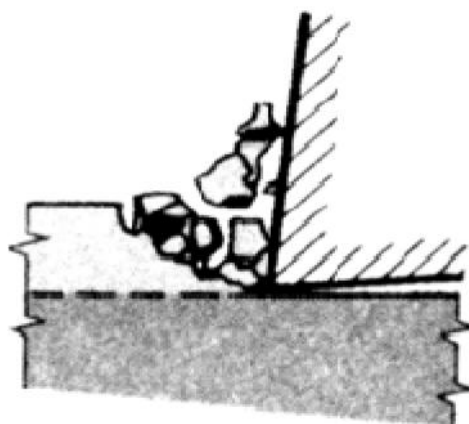
### 2.2.1 Tvorba třísky při obrábění titanových slitin

Tvorba třísky je ovlivněna hlavně procesem lokalizace plastické deformace, napětí a smykového porušení. To vše probíhá pod vlivem jistých mechanických vlivů. Plastické deformace, vznikající během procesu obrábění, se vyjadřují podle určitých veličin.  $\Phi$ , což je úhel střížné roviny, tento úhel určuje směr maximálních smykových napětí vzhledem k rovině řezu,  $\epsilon$  skos a  $K_a$ , což je součinitel přechování třísky. Tyto kritéria jsou velmi důležité pro vývoj důležitých součástí obrábění, jako je vývoj řezných nástrojů pro obrábění titanových slitin, hledání experimentálních řezných podmínek a vývoj řezných kapalin, které jsou pro materiál se špatnou tepelnou vodivostí velmi důležité. I když jsou tyto kapaliny pro samotné obrábění velmi důležité, v praxi jim nebývá věnována příliš velká pozornost.<sup>9</sup>

Obr. 2.7 Tříška tvářená plynulá<sup>5</sup>Obr. 2.8 Tříška tvářená článkovitá<sup>5</sup>



Obr. 2.9 Tříska tvářená elementární<sup>5</sup>



Obr. 2.10 Tříska vytrhávaná elementární<sup>5</sup>



Obr. 2.11 Tříska šroubovitá dlouhá<sup>5</sup>



Obr. 2.12 Tříska šroubovitá krátká<sup>5</sup>



Obr. 2.13 Tříska spirálová<sup>5</sup>



Obr. 2.14 Tříska stuhová<sup>5</sup>

Na obrázcích 2. 7 až 2.10 je znázorněna tvorba jednotlivých typů třísek a obrázky 2.11 až 2.14 znázorňují jednotlivé tvary vznikajících třísek.

Při obrábění titanových slitin, dochází při tvorbě třísky také k tvorbě trhlin. Tyto trhliny zůstávají na obrobku a během obrábění se rozšiřují dále před ostrím nástroje. Vznik těchto trhlin způsobuje spojování dutin během obrábění a lom nedeformovatelných vměstků v primární oblasti tvorby třísky. Tyto trhliny značně ovlivňují výsledný tvar třísky.

Tříska samotná není při procesu obrábění pouze odpad, jehož množství by se z ekonomického pohledu mělo co nejvíce snížit. Třísky lze po obrábění analyzovat a zkoumat, čímž zjistíme, jak probíhaly během procesu obrábění plastické deformace, jaký měla průběh a jaký byl její charakter.<sup>9</sup>

Tvorba segmentové třísky začíná při obrábění v okamžiku, kdy se vyrovnávají třískové elementy klínového tvaru před čelem nástroje. Počáteční kontakt s čelem nástroje je velmi krátký a dochází k velmi intenzivnímu přenosu tepla mezi třískou a nástrojem a může docházet k případnému opotřebení řezné plochy nástroje. Postupné stlačování nově vznikajícího segmentu vytlačuje starý směrem nahoru a díky tomu rychlost pohybu třísky po čele nástroje je rovna rychlosti stlačování elementu třísky. Tato část cyklu, kdy se segment pohybuje po čele nástroje má vlastnost periodického zadrhávání se, při kterém je potřeba pouze minimální síly ke stlačení segmentu.<sup>9</sup>

Cyklus má velký vliv na dynamiku mechanismu obrábění. Při vzniku segmentu třísky řezná rychlost  $v_c$  roste a v okamžiku vzniku trhliny a počátku smyku prudce klesá, čím v mechanismu vznikají vibrace, které mohou vést až únavovému porušení nástroje.<sup>9</sup>

### 2.2.2 Nástroje pro obrábění titanových slitin

Podobně jako u korozivzdorných ocelí, tak i u titanových slitin je nutné pro obrábění používat speciálně vyvinuté obráběcí nástroje. U titanu se výhradně užívá řezných nástrojů vyrobených z karbidů. Lze použít i nástroje vyrobené z rychlořezné ocele, ale ty se v praxi používají pouze pro obrábění povrchu složitého tvaru.

Základní geometrie nástrojů pro hrubování:

- úhel čela  $\gamma_0 = 0 \div -5^\circ$
- úhel hřbetu  $\alpha_0 \approx 11^\circ$
- rádius špičky nástroje  $r_\epsilon = 0,5 \div 1 \text{ mm}$

Poté při dokončovacích operacích je nutné použít nástroj s úhlem čela  $\gamma_0 = 3 \div 5^\circ$ <sup>9</sup>

Obecně nástrojové úhly ovlivňují velikost řezných sil, teplotu řezání, hospodárnost obrábění, vlastnosti třísek, strukturu povrchu obrobku..., proto mají na volbu úhlů zásadní vliv fyzikální vlastnosti obráběného materiálu, dále pak v menší míře řezné podmínky a vlastnosti materiálu řezného nástroje.<sup>2</sup>

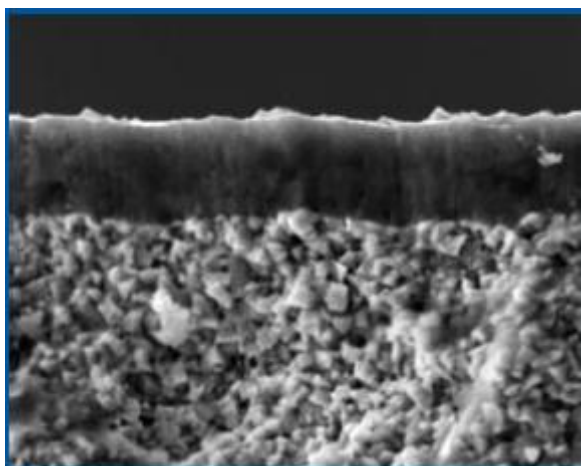
Nástrojový ortogonální úhel čela  $\gamma_0$  ovlivňuje mechanismus tvorby třísky, řezné síly, čím menší hodnotu má úhel čela, tím vzrůstá intenzita pýchování třísky, s čehož vyplývá zvětšování sil při obrábění, dále pak má vliv na tuhost bříty, při zmenšování úhlu čela roste ortogonální úhel bříty  $\beta_0$ , což zvyšuje tuhost bříty. Hodnoty úhlu čela se běžně pohybují v rozsahu od  $-8^\circ$  do  $+8^\circ$ . Pro obrábění materiálů s mezí pevnosti nižší než 850 MPa se volí  $\gamma_0 \geq 0$  a pro materiály vyšší mezí pevnosti  $\gamma_0 < 0$ .<sup>2</sup>



Nástrojový ortogonální úhel hřbetu  $\alpha_0$  má vliv na tření na hřbetě nástroje a podobně jako úhle čela také na tuhost bříty.<sup>2</sup>

Optimální úhly čela pro dosažení nejvyšší trvanlivosti se pohybují do 20°. Na trvanlivost nástroje má velký vliv i úhel hřbetu, při jehož vyšší hodnotě stoupá trvanlivost nástroje. Tato skutečnost je způsobena tím, že při vyšším úhlu hřbetu je styková plocha mezi obrobkem a hřbetem nástroje menší a díky tomu se snižuje míra nalepování materiálu na nástroj. Zvětšováním úhlu hřbetu tedy lze dosáhnout vyšší trvanlivosti, ale při vyšších úhlech hřbetu dochází ke zmenšení pevnosti řezného klína a hrozí jeho přehřátí.<sup>9</sup>

Jako příklad nástroje pro obrábění titanových slitin lze uvést nástroj od firmy již zmiňované firmy Pramet Tools, spol. s r.o., která pro tento účel nabízí nástroje pod označením VBD VB 1103. Tento typ nástrojů má úhel čela roven nule a je vyráběn ze 3 různých materiálů pod označením T8315, T8330 a T8345. Pro obrábění titanu je jsou však určeny pouze nástroje vyrobeny z materiálu T8345.<sup>4</sup>



Obr. 2.15 Řez materiálem T8345 firmy Pramet Tools, spol. s r.o.<sup>4</sup>

Tento materiál je součástí řady T8300. Tyto materiály jsou vytvořeny kombinací submikronových substrátů s rozdílným obsahem pojící kobaltové fáze a jsou potaženy speciálním povlakem označeným jako PVD. Tento povlak má nanovrstvenou strukturu na bázi TiN/TiAlN s gradientními přechody. Tento povlak je ještě potažen speciální vrstvou TiN, která na povrchu působí proti tvoření nárůstku a při opotřebení je pak zřetelné místo otěru. Tento povlak zaručuje dobré mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu při procesu obrábění jako je tvrdost, houževnatost, otěruvzdornost.

Materiál T8345 je nejhouževnatější materiál ze skupiny T8345 a také jediný vhodný pro obrábění materiálů typu S, mezi které patří slitiny titanu. Submikronový substrát s vysokým obsahem kobaltu a nanovrstvený povlak PVD s gradientními přechody zaručují tomuto materiálu nižší vrubové opotřebení na hlavním bříty, až střední řezné rychlosti a větší průměry třísek.<sup>4</sup>

Tab. 2.2 – přehled utvařečů typu VDB pro vnitřní soustružení od firmy Pramet Tools, spol s.r.o. <sup>4</sup>

	ISO	R/L	Rozměry [mm]										kg	ND	VBD	Nahrazení
			K'	Odpr	f	l <sub>1</sub>	h	b	A	α <sub>max</sub>	λ <sub>s</sub> <sup>°</sup>	γ <sub>s</sub> <sup>°</sup>				
Vnitřní soustružení	A16R-SVQBR/L 11	• / •	107°30'	16	11	200	14,5	15	3	20	-5	0	0,45	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	S16R-SVQCR/L 11
	A20S-SVQBR/L 11	• / •	107°30'	20	13	250	18	18,5	4	25	-4	0	0,6	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	S20S-SVQCR/L 11
	A16R-SVUBR/L 11	• / •	93°	16	11	200	14,5	16	3	22	-5	0	0,45	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	
	A20S-SVUBR/L 11	• / •	93°	20	13	250	18	18,5	4	25	-4	0	0,6	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	S20S-SVUCR/L 11

Tab. 2.3 – přehled utvařečů typu VDB pro vnější soustružení od firmy Pramet Tools, spol s.r.o. <sup>4</sup>

	ISO	R/L	Rozměry [mm]								kg	ND	VBD	Nahrazení
			K	$h=h_1$	b	f	$l_1$	$l_{max}$	$\lambda_s^\circ$	$\gamma_s^\circ$				
Vnější soustružení	SVHBR/L 1616 H 11	• / •	107°30'	16	16	20	100	14	0	0	0,2	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVHCR/L 1616 H 11
	SVJBR/L 1212 F 11	• / •	93°	12	12	16	80	20	0	0	0,1	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVJCR/L 1212 F 11
	SVJBR/L 1616 H 11	• / •	93°	16	16	20	100	20	0	0	0,2	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVJCR/L 1616 H 11
	SVPBR/L 1616 H 11	• / •	117°30'	16	16	20	100	12	0	0	0,2	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVPCR/L 1616 H 11
	SVPBR/L 2020 K 11	• / •	117°30'	20	20	25	125	12	0	0	0,4	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVPCR/L 2020 K 11
	SVVBN 1212 F 11	• / •	72°30'	12	12	6	80		0	0	0,08	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVVCN 1212 F 11
	SVVBN 1616 H 11	• / •	72°30'	16	16	8	100		0	0	0,18	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVVCN 1616 H 11
	SVVBN 2020 K 11	• / •	72°30'	20	20	10	125		0	0	0,35	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVVCN 2020 K 11
	SVXBR/L 1212 F 11	• / •	98°	12	12	16	80	20	0	0	0,1	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVXCR/L 1212 F 11
	SVXBR/L 1616 H 11	• / •	98°	16	16	20	100	20	0	0	0,2	SO1	VB.. 1103.. VC.. 1103..	SVXCR/L 1616 H 11

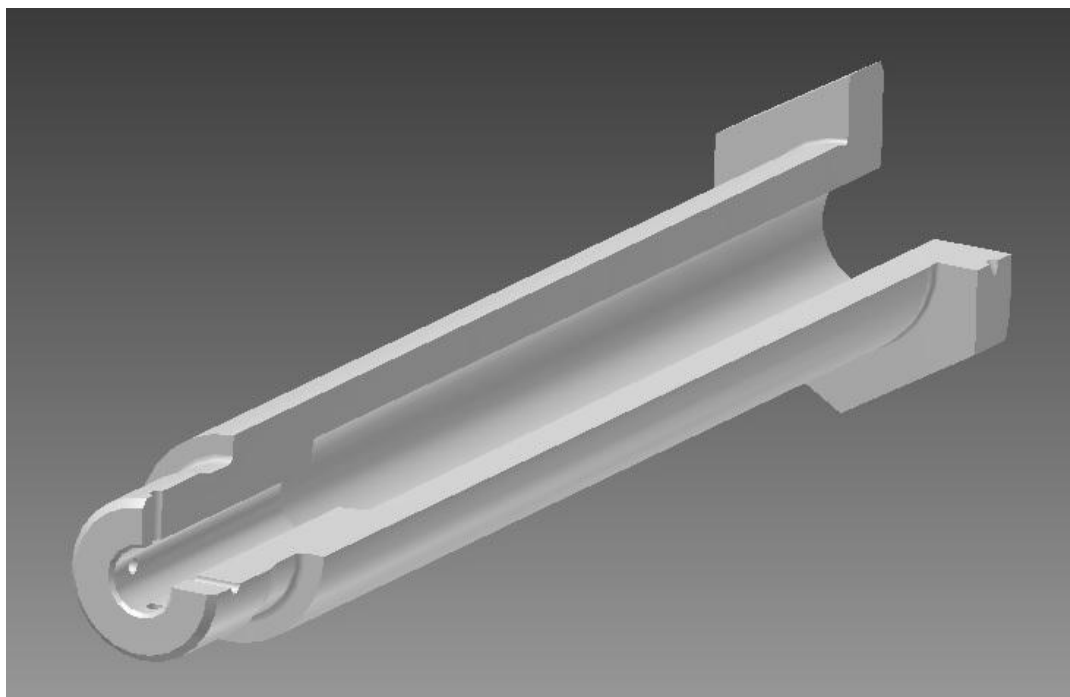


### 3 OBRÁBĚNNÍ TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH MATERIÁLŮ V PRAXI

Na trhu je relativně velké množství firem zabývajících se obráběním, ale pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů je jejich počet daleko nižší. Jako příklad lze uvést firmu Frentech Aerospace s.r.o. s hlavním sídlem v Brně na ulici Jarní 977/48. Jedná se o českou firmu založenu 1994. Původní produkce byla zaměřena na lékařskou techniku a mikroelektroniku, později však po roce 1997 se firma zaměřila na výrobu leteckých komponentů pro firmu AIRBUS S.A.S., což je největší evropský výrobce letadel.

Vybraná součást je čep vyrobený z materiálu 1.4548.4, vrtaný v ose čepu po celé své délce. Materiál 1.4548.4 patří mezi legované korozivzdorné ocele. Je to austenitická ocel s obsahem 0,05% C, 16% Cr, 4% Ni a 4% Cu. Ocel je kalená, s vysokou odolností vůči korozi a deformacím s mezí pevnosti  $R_m=1070$  MPa. Vyznačuje se tedy vysokou pevností a je poměrně dobře svařitelná. Běžně se využívá pro součásti, které by měli mít vysokou pevnost a velmi dobrou odolnost vůči korozi při vysokých teplotách (až 300 °C), především pak je využíván pro součásti v leteckém průmyslu.

Jak lze vidět z výkresu součásti (příloha 4), je vyráběný čep vrtán po celé délce s průměry díry 15 mm a 8 mm, dle výkresu zprava do hloubky 132 mm. Díky této hloubce se vyvrtání díry stává nesložitějším procesem při obrábění.



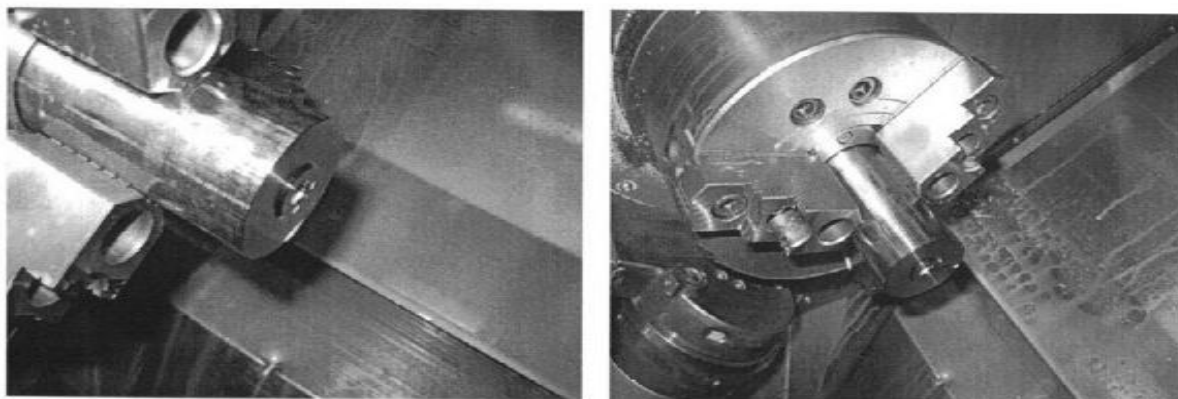
Obr. 3.1 3D model čepu

Součást se bude vyrábět na 4 osém CNC soustruhu SQT 200MY od firmy Yamazaki Mazak, jedná se o dnes již starší typ stroje schopného obrábět ve 4 osách pohybu, díky kterým lze obrobít i nesouosý tvar obrobku. Specifikace stroje viz Příloha 5.

Programování stroje se provádí v programu CAMWARE od firmy Yamazaki Mazak a program na tuto součást je rozdělen do 3 operací, čili součást se vyrábí na 3 upnutích. Použije

se polotovaru o průměru 50 mm z již zmiňovaného materiálu 1.4548.4, který se uřízne na délku 167 mm.

Po prvním upnutí obrobku se spustí jako první program označený jako 392 (příloha 6). V průběhu programu se obrobí čelo obrobku, dále pak průměr 8 mm a provede se hrubování povrchu na straně závitu.



Obr. 3.2 Obrobek po první operaci

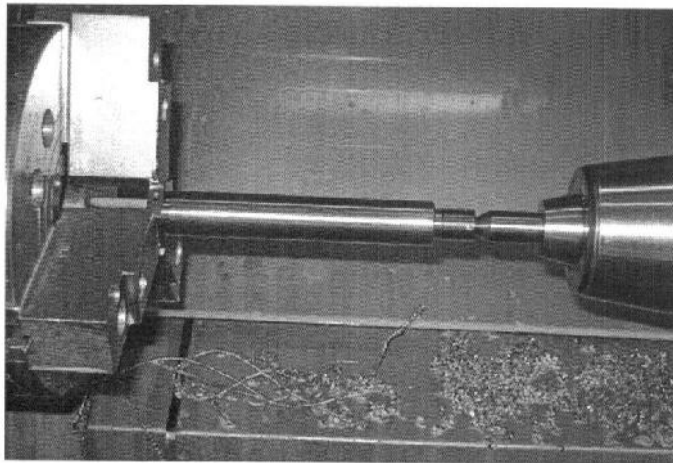
V druhé operaci (program 391 viz příloha 7) se obrábí druhá strana obrobku. Jako první se opět obrábí čelo obrobku a provádí se hrubování. Dále následuje vrtání průměru 15 mm do hloubky 132 mm. Tato operace je nejnáročnější a provádí se více nástroji nejdříve kratším vrtákem s průměrem 14 mm a pak vrtákem delším s požadovaným průměrem 15 mm. V dalším kroku se frézuje šestihranná hlava čepu a na hrubo se vyvrtávají díry o průměru 1,78 mm v této hlavě.



Obr. 3.3 Obrobek po provedení druhé operace

V poslední operaci (program 393 viz příloha 8) se již obrábí na hotovo povrch po celé délce obrobku, dále se pak vyřezává závit a navrtávají poslední otvory v místě závitu o průměru 2mm. Je to konečná operace a tedy i poslední upnutí obrobku, obrobek se pak obrábí na

zámečnické dílně, kde dovrtávají předvrtané díry, obrobek se celkově odjehluje a dohodovávají se díly se špatným opracováním otvorů.



Obr. 3.4 Obrobek po dokončení třetí operace

## 4 DISKUZE

Jako zhodnocení výsledků lze konstatovat, že teorie se s praxí nerozchází až v takové míře, jak by se dalo očekávat. Přesto, že při obrábění těžkoobrobitelných materiálů hrozí mnoho závad, jako je například opotřebování nástroje (nalepování materiálu, plastická deformace ostří, lom nástroje...), nebo nechtěná chemická reakce při vyšších teplotách (reakce titanu s kyslíkem a dusíkem, tvorba karbidů v obrobku při obrábění korozivzdorné ocele...), jsme schopni podobným závadám předcházet. Bohužel však vývoj složení těžkoobrobitelných materiálů a následně technologií na jejich opracování je stále na začátku, jak je patrné z článků a prací na toto téma, proto jsou v dnešní době náklady na výrobu a zpracování těchto materiálů velmi vysoké, díky čemuž se, v dnešní době ekonomické krize, při vývoji konstrukcí často volí levnější řešení.

Jak již bylo zmíněno, při obrábění popisovaného čepu od firmy Frentech Aerospace s.r.o., je nejsložitější operace vyvrtání díry o průměru 15 mm do hloubky 132 mm. Jako první možnost, pro dokončení díry, byl zvolen vrták HSS o průměru 15 mm, který měl  $v_c=15$  a  $F_{ot}=0,07$ , ale u tohoto vrtáku docházelo k vyplachování a proto byl zvolen vrták TITEX o průměru 15 mm s  $v_c=31$  a  $F_{ot}=0,05$ . Tento vrták dle testování zvládne operaci bez větších problémů.

Po konzultaci s technickým zázemím firmy lze navrhnout úpravu technologie a to nahrazením použitého vrtáku TITEX o průměru 15 mm za jiný typ vrtáku, za typ vrtáku s kanálky pro vnitřní chlazení při obrábění. Díky této úpravě by se zvýšila účinnost chlazení soustavy nástroj-obrobek, díky čemuž by se mohla zvýšit rychlost při obrábění, tudíž by se zvýšila i produktivita obrábění.

### 4.1 Návrh vzorové technologie

Jako vzorovou technologii lze navrhnout výrobní centrum na obrábění korozivzdorné ocele pomocí již zmíněných komponentů. Jako hlavní zařízení pro obrábění lze navrhnout čtyřosý CNC soustruh od firmy Yamazaki Mazak typ SQT 200MY. Díky využití tohoto CNC soustruhu bude možno obrábět i nesouosé soustružené součásti. Technické specifikace tohoto stroje viz příloha 5.

Dále jako nástroje lze navrhnout sadu nástrojů od firmy Pramet Tools, spol.s.r.o. Sada utvařečů by měla být vyrobena z materiálu označeného jako 9235, což je materiál určený přímo pro obrábění korozivzdorných ocelí. Jednalo by se především o utvařeče typu NM, ale dle konkrétního obrábění lze navrhnout i jiný typ utvařečů s tohoto materiálu. Technické specifikace pro posuv, hloubku řezu a řezné rychlosti jsou v katalogu pro materiál 9235 pro různé typy utvařečů a v katalogu pro utvařeče NM firmy Pramet Tools, spol.s.r.o. viz Příloha 2 a 3.

Dále upínání obrobku do sklíčidla a vyměňování nástrojů mezi jednotlivými operacemi může provádět obsluha, čili ruční výměna obrobků a nástrojů. Navržený stroj je vybaven hlavou pro až 12 nástrojů, proto ruční výměna pouze pokud bude zapotřebí více jak 12 nástrojů a pouze mezi operacemi.

Kombinací těchto komponentů lze dosáhnout schopnosti vyrobit valnou většinu soustružených součástí z korozivzdorné ocele. U konkrétních obrobků by se musela sada nástrojů doplnit o požadované nástroje, pokud by byli potřeba.

## ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá korozivzdornými ocelmi a titanovými slitinami z hlediska materiálového a především obrábění. Jako poslední část je doplněna o prakticky obráběnou součást.

Z prostudování odborné literatury a rozboru korozivzdorných ocelí a titanových slitin vyplývá:

- Nejlépe obrobitelnou korozivzdornou ocelí je ocel feritická,
- Slitiny titanu je velmi složité obrábět a to díky náchylnosti titanu reagovat s kyslíkem a dusíkem při teplotách nad 700 °C,
- Těžkoobrobitelné materiály vykazují malou tepelnou vodivost, což má negativní vliv na obrábění z hlediska opotřebení nástroje,
- Pro obrábění korozivzdorné ocele je nejvýhodnější, z výběru firmy Pramet Tools spol. s.r.o., využít materiál označený jako 9235 a pro titanové slitiny materiál označený jako T8345,
- Vybraná ukázková součást od firmy Frentech Aerospace s.r.o. je čep z korozivzdorné ocele 1.4548.4 určený pro firmu AIRBUS, je vyráběn na čtyřosém CNC soustruhu na 3 obráběcí operace
- Dokončení vrtání díry u ukázkové součásti o průměru 15 mm je možno vylepšit nahrazením použitého nástroje nástrojem s kanálky pro vnitřní chlazení vrtáku a tím zvýšit produktivitu výroby.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Korozivzdorné oceli - vlastnosti. In: *Vlastnosti korozivzdorných ocelí* [online]. Vydání 2002. Lucembursko: Euro Inox, 2002, 28 s. ISBN 2-87997-082-2 [vid. 2013-03-10]. Dostupné z: <[http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties\\_CZ.pdf](http://www.euro-inox.org/pdf/map/StainlessSteelProperties_CZ.pdf)>
2. HUMÁR, A. *Technologie I - Technologie obrábění - I. část*. Studijní opory. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2003. [online]. [vid. 2013-04-16]. Dostupné z: <[http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)>
3. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. *Materiály*. [online]. [vid. 2013-04-17]. Dostupné z: <[http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech\\_guide/ENG/MT](http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/downloads/tech_guide/ENG/MT)>
4. PRAMET TOOLS, s.r.o., Šumperk. *Historie*. Česká republika. [online]. [vid. 2013-04-17]. Dostupné z: <<http://www.pramet.com/cz/ke-stazeni.html>>
5. POPELKA, Zdeněk. *Analýza mechanismu tvoření třísky při obrábění titanových slitin*. Brno, 2011. Dostupné z: <[https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/4249/2011\\_DP\\_Popelka\\_Zden%C4%9Bk\\_76080.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/4249/2011_DP_Popelka_Zden%C4%9Bk_76080.pdf?sequence=1)>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce prof. Ing. BOHUMIL BUMBÁLEK, CSc
6. PERONČÍK, Martin. *Obrábění těžkoobrobitelných materiálů*. Brno 2010. Dostupné z: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=25826](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=25826)>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc
7. Holeček, Václav. *Rohové frézování korozivzdorných ocelí*. Brno 2011. Dostupné z: <[https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/1588/2011\\_BP\\_Holecek\\_Vaclav\\_120291.pdf?sequence=1](https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/1588/2011_BP_Holecek_Vaclav_120291.pdf?sequence=1)>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Anton Humár, CSc
8. VNOUČEK, Milan. *Nikl a jeho slitiny, titan a jeho slitiny*. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, Dostupné z: <[http://www.ateam.zcu.cz/download/nikl-titan-09\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/nikl-titan-09_10.pdf)>.
9. VASILKO, Karol. *Obrábanie titánu a jeho zliatin*. prvé. Prešov: Fakulta výrobných technológií Technickej univerzity v Košiciach, so sídlom v Prešove, 2001. 120 s. ISBN 80-7099-683-8.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Zkratka	Jednotka	Popis
BCC	[-]	Krystalická mřížka plošně středěná
HB	[-]	Tvrdost dle Brinella
HCP	[-]	Hexagonální mřížka
HSS	[-]	Rychlořezná ocel
M	[-]	Korozivzdorná ocel dle skupin obráběných materiálů
S	[-]	Žáruvzdorné slitiny dle skupin obráběných materiálů

Symbol	Jednotka	Popis
$\alpha_0$	[°]	Úhel hřbetu nástroje
$\beta_0$	[°]	Ortogonální úhel břitu
$\gamma_0$	[°]	Úhel čela nástroje
$\Phi$	[°]	Úhel střižné roviny
$\varepsilon$	[°]	Rovina řezu
$F_{ot}$	[N]	Síla otáčení
$i$	[-]	Index obrobitelnosti
$K_a$	[-]	Součinitel přechování třísky
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti
$v_c$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$v_{cT}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost při dané trvanlivosti
$v_{cT}^{et}$	[m.min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost etalonového materiálu

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	Periodická tabulka prvků
Příloha 2	Katalog utvařečů typu NM od firmy Pramet Tools
Příloha 3	Katalog materiálu 9235 od firmy Pramet Tools
Příloha 4	Výkres čepu od firmy Frentech Aerospace
Příloha 5	Specifikace stroje MAZAK SQT 200MY
Příloha 6	CAMWARE MAZAK program 392
Příloha 7	CAMWARE MAZAK program 391
Příloha 8	CAMWARE MAZAK program 393



# PŘÍLOHA 1

## Periodická soustava prvků

<div><div>EU</div><div>US</div><div>IUPAC</div></div>																	
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	8A	8A	1B	2B	3B	4B	5B	6B	7B	0
1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A	8A	8A	1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 H at. c.																	2 He
3 Li	4 Be chem. zn.											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Nh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

lanthanoidy:

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

aktinoidy:

nekovy	vzácne plyny	alkalické kovy	alkalické zemní kovy	metalloidy	halogeny	jiné kovy	přechodné kovy	vzácne zemní prvky
--------	--------------	----------------	----------------------	------------	----------	-----------	----------------	--------------------

plynná látka	pevná látka	kapalná látka	uměle připravený prvek	nezachytitelný (pouze stopy v kometě)
--------------	-------------	---------------	------------------------	---------------------------------------

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	104 Rf	105 Ha	106 Sg	107 Nh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uun	112 Uub	113 Uut	114 Uuq	115 Uup	116 Uuh	117 Uus	118 Uuo

lanthanoidy:

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

aktinoidy:





## PŘÍLOHA 3 (1/3)

Katalog materiálu 9235 od firmy Pramet Tools s.r.o.

### Technické informace

## NOVÝ SOUSTRUŽNÍKÝ MATERIÁL ŘADY 9000

Nejhouzavější materiál z řady 9000. Vyniká vysokou odolností a tepelnou stabilitou při soustředěném zachování exozelení odolnosti vůči mechanickým a tepelným rázům.

Skvěle doplňuje svými fyzikálními vlastnostmi materiál 9230, doměřuje oblastí trubových a plechových řezů.



Materiál je tvořen kombinací vysokého houževnatého substrátu s gradientní povrchovou vrstvou, která zabráněuje vzniku a šíření trhlin v podkladovém materiálu, a nového MT-CVD povlaku obsahujícího vysoké ořemnické a tepelné stálou vrstvu  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Vynikající adhezí povlaku na substrátu zajišťuje vysokou odolnost vůči tržným a tlakovým rázům.

### VLASTNOSTI NOVÉHO ŘEZNÉHO MATERIÁLU

#### ZVÝŠENÍ TEPELNÉ ODOLNOSTI

Nový MT-CVD povlak materiálu 9235 poskytuje destičkám vyšší tepelnou ochranu bítu a zamezuje plastické deformaci špičky. Materiál je tak vhodný i pro vyšší řezné rychlosti.

#### ZVÝŠENÁ OTEŘUVZDORNOST

Alfa-modifikace Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vrstvy povlaku 9235 zaručuje oproti staré verzi povlaku materiálu 6635 mnohem vyšší odolnost.

#### VYSOKÁ ODOLNOST VŮČI MECHANICKÝM RÁZM

Vysoký podíl pevnosti v tahu a odolnosti vůči rázům s optimální velikostí a sítím karbidových zrn dává vyniknout excelentní odolnosti materiálu vůči mechanickým rázům.

### PŘÍKLADY OPOTŘEBENÍ

#### KOROZIVZDORNÁ OCEL



Destička 25 minut v řezu, materiál: 17349.4,  $v_c = 160$  m/min,  $f = 0,25$  mm/v,  $a_p = 2$  mm



#### OCEL „P“



Destička 15 minut v řezu, materiál: 12050.1,  $v_c = 230$  m/min,  $f = 0,25$  mm/v,  $a_p = 2$  mm



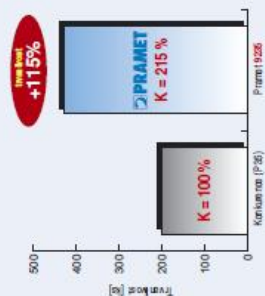
### Technické informace

#### PŘÍKLAD 1

#### OBŘÁBĚNÍ NOVÝM MATERIÁLEM 9235:

Stroj: Soustruh  
Typ: T94-1  
Materiál: ocel 12050  
Operace: soustružení náboje  
Nářez: PW/NP 25/25M08  
Destička: WNMG 080408ER  
Chlazení: s chlazením

Řezná rychlost	$v_c$	200 m/min
Posuv na otáčku	$f_z$	0,15 mm/ot
Axální hloubka řezu	$a_p$	3 mm

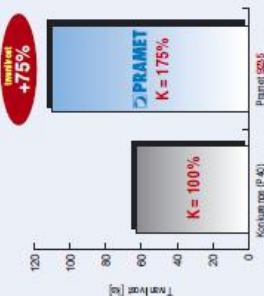


#### PŘÍKLAD 2

#### OBŘÁBĚNÍ NOVÝM MATERIÁLEM 9235:

Stroj: Soustruh  
Typ: K2900  
Materiál: ocel 1246MB (přodst 140 HB)  
Operace: soustružení  
Nářez: PTHN 40/1027  
Destička: TNMG 20016 DR  
Chlazení: bez chlazení

Řezná rychlost	$v_c$	140 m/min
Posuv na otáčku	$f_z$	0,4 mm/ot
Axální hloubka řezu	$a_p$	7 mm

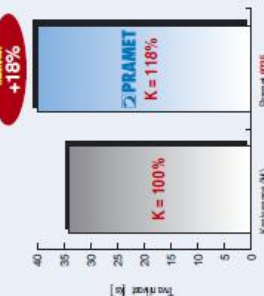


#### PŘÍKLAD 3

#### OBŘÁBĚNÍ NOVÝM MATERIÁLEM 9235:

Stroj: Soustruh  
Typ: Glemseier GTX 50  
Materiál: 14408 (skupina M)  
Operace: předsouvání soustružení kuličkové plochy  
Nářez: PCJN08 250M12  
Destička: CNMG 120408ENM  
Chlazení: s chlazením

Řezná rychlost	$v_c$	160 m/min
Posuv na otáčku	$f_z$	0,2 mm/ot
Axální hloubka řezu	$a_p$	2,5 mm





# PŘÍLOHA 3 (2/3)

Katalog materiálu 9235 od firmy Pramet Tools s.r.o.

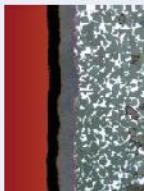

## Technické informace

### STARTOVACÍ REZNÉ PODMÍNKY

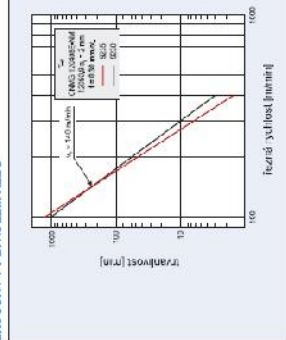
Výměr	Typ rezu	Rozsahy startovacích rezních podmínek												S		
		Třída rezu	a, mm	f, mm/min	v, mm/min	f, mm/min	v, mm/min	f, mm/min	v, mm/min	f, mm/min	v, mm/min	f, mm/min	v, mm/min			
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16
		NM 201242-40 0205	0,4-1,7	4-16	120-180	0,4-1,2	4-12	70-120	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16	120-180	0,4-1,2	4-16

## Technické informace

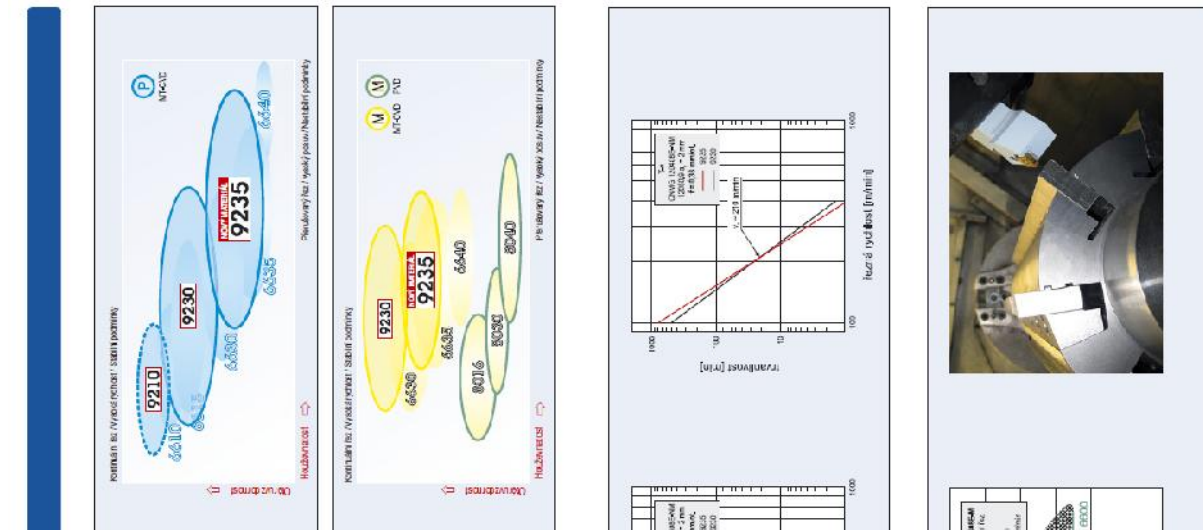
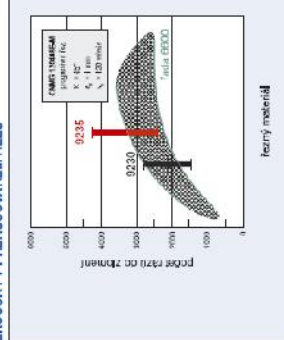
### APUKAČNÍ OBLASTI

9235		9235	
			
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	
Kód materiálu: 9235		Kód materiálu: 9235	

## ZKOUŠKY PLYNULÉM REZU



## ZKOUŠKY PŘEBÍŠOVÁNĚM REZU





Katalog materiálu 9235 od firmy Pramet Tools s.r.o

### STARTOVACÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY:

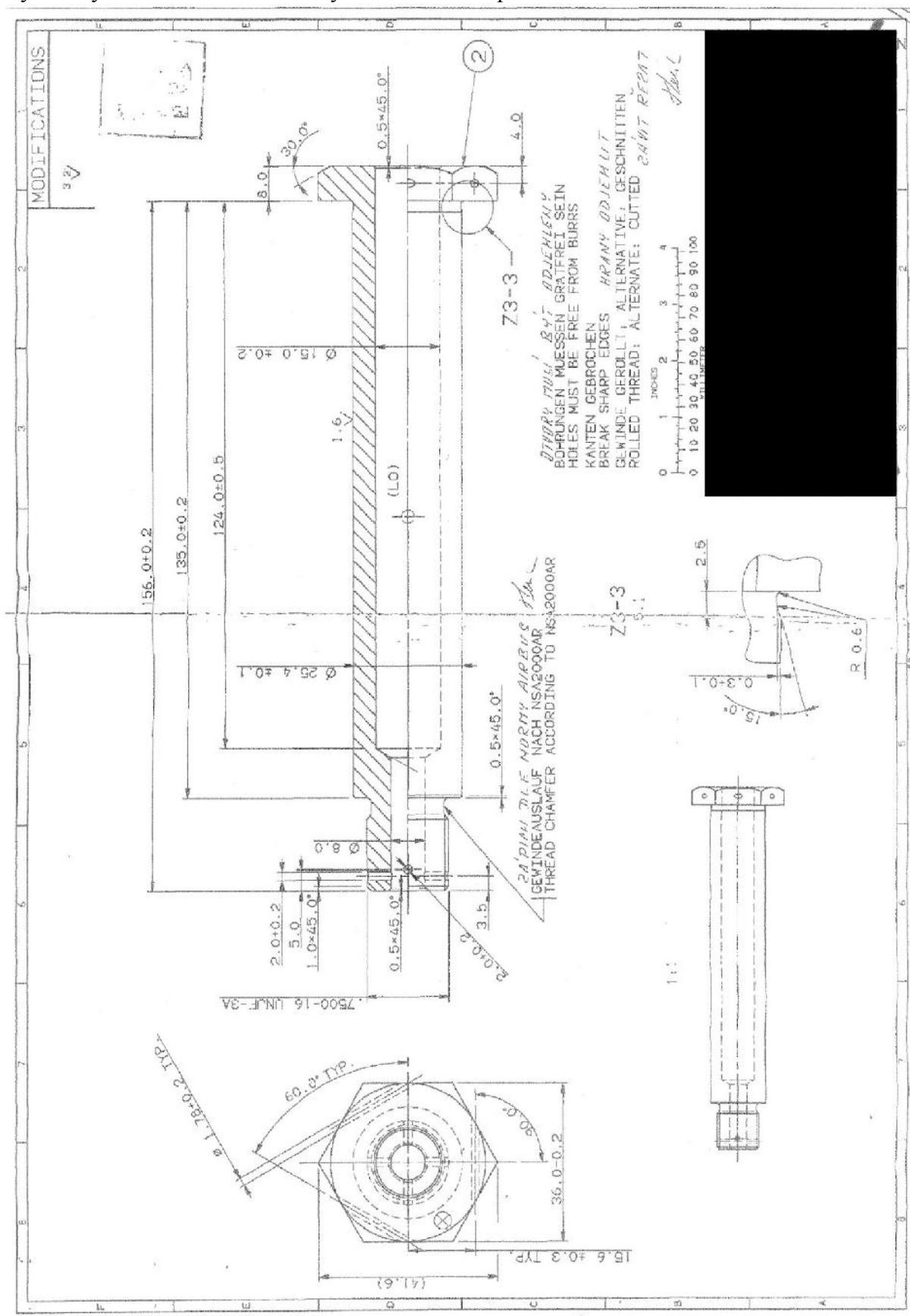
[illegible]

#### STARTOVACÍ ŘEZNÉ PODMÍNKY:

[illegible]

## PŘÍLOHA 4

Výkres vyráběné součásti od firmy Frentech Aerospace s.r.o.





# PŘÍLOHA 5 (1/3)

## Specifikace stroje Yamazaki Mazak SQT 200my

STANDARD SPECIFICATION OF THE MACHINE

1

### 1 STANDARD SPECIFICATION OF THE MACHINE

#### 1-1 Principle Specification

Item			Unit	Machine model and Destination			
				SQT-200MY		SQT-250MY	
				USA, CE	Asia	USA, CE	Asia
Capacity	Chuck size		inches	φ 8		φ 10	
	Maximum swing		mm (in.)	φ 525 (20.67)			
	Standard machining diameter		mm (in.)	φ 276 (10.87)			
	Maximum machining diameter		mm (in.)	φ 300 (11.81)			
	Bar work capability		mm (in.)	φ 51 (2)		φ 64 (2.5)	
	Distance between spindle end and turret end face		mm (in.)	135 - 710 (5.23 - 27.98)		115 - 590 (4.48 - 27.23)	
	Maximum support weight (Chuck weight included)		kgf (lbs)	100 (220) [Chuck work] 150 (330) [Shaft work]			
Work spindle	Speed range		min <sup>-1</sup> (rpm)	35 - 5000	35 - 4500 [35 - 5000 (☆)]	35 - 4000	35 - 3500 [35 - 4000 (☆)]
	Acceleration and deceleration time		sec	2.5			
	Bore		mm (in.)	φ 51 (2.4)		φ 76 (3.0)	
	Motor output [30-min. rating]		kW (HP)	18.5 (25)	15 (20) [18.5 (25) (☆)]	18.5 (25)	
	Maximum torque		kgf·m (ft.lbs)	35.8 (259)	34 (245) [35.8 (259) (☆)]	35.8 (259)	
Tailstock	Center			Morse taper No. 5			
	Movement stroke [body/sleeve]		mm (in.)	400/150 (15.75/5.91)			
	Maximum thrust		kgf (lbs)	700 (1540)			
Turret	Number of tools (milling tools)		Pieces	12 (12) [16 (16) (☆)]			
	Tool size	OD turning	mm (in.)	□25 (□1)			
		ID turning		φ 40 (1.5)			
		Rotary drill		Max. φ 20 (0.75)			
		Rotary tap		Max. M12 (1/2 UNC)			
		Rotary end mill		Max. φ 20 (0.75)			
	Indexing time	Next/opposite position	sec	0.2/0.6			
	Milling spindle speed		min <sup>-1</sup> (rpm)	25 - 4500 [35 - 5000 (☆)]			
	Milling spindle motor output [10-min. rating]		kW (HP)	3.7 (4.93)			
	Milling spindle maximum torque		kgf·m (ft.lbs)	3.6 (25) [2.4 (1.7) for 6000 min <sup>-1</sup> spec.]			
Feed axes	Rapid traverse	X/Z/Y	m/min (ft/min)	30/30/12 (98.4/98.4/39.4)			
		C	min <sup>-1</sup> (rpm)	400			
	Axis stroke	X	mm (in.)	180 [175 + 5] (7.125 [7 + 0.125])			
		Z		575 [570 + 5] (22.75 [22.5 + 0.25])			
		Y		100 [50 + 50] (4 [2 + 2])			

## PŘÍLOHA 5 (2/3)

### Specifikace stroje Yamazaki Mazak SQT 200my

#### 1 STANDARD SPECIFICATION OF THE MACHINE

Item			Machine model and Destination			
			SQT-200MY		SQT-250MY	
			USA, CE	Asia	USA, CE	Asia
Others	Coolant tank capacity	L (gal)	185 (48.9)			
	Power requirement [cont./30-min. rating]	kVA	31.3/36.3	26.9/32.9 (★)	31.3/36.3	
Overall dimensions	Size	Spindle center height	1020 (40.16)		1020 (40.16)	
		Overall length	CE: 3140 (123.62) USA: 3040 (119.68)	3040 (119.68)	CE: 3140 (123.62) USA: 3080 (121.26)	3080 (121.26)
		Overall width	1788 (70.39)		1788 (70.39)	
		Overall height (*)	CE: 2200 (86.61) USA: 2000 (78.74)	2000 (78.74)	CE: 2200 (86.61) USA: 2000 (78.74)	2000 (78.74)
	Floor space required	m <sup>2</sup> (ft <sup>2</sup> )	CE: 5.61 (60.39) USA: 5.44 (58.56)	5.44 (58.56)	CE: 5.61 (60.39) USA: 5.51 (59.31)	5.51 (59.31)
	Machine weight	kgf (lbs)	5600 (12320)		5800 (12760)	

### 1-3 Characteristic of Spindle Motor

For SQT-200MY

Speed range: 35 - 5000 min<sup>-1</sup> (rpm)

Motor output: AC 18.5 kW (25 HP) [30-min. rating]

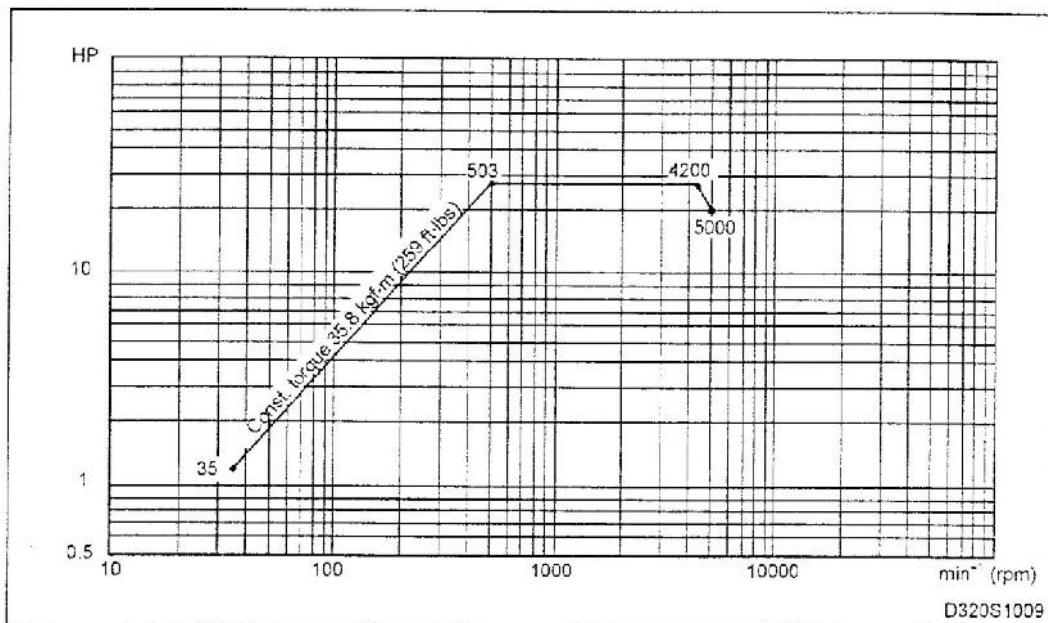


Fig. 1-3 Characteristic of main spindle motor for 200MY



# PŘÍLOHA 5 (3/3)

## Specifikace stroje Yamazaki Mazak SQT 200my

STANDARD SPECIFICATION OF THE MACHINE

1

### 1-2 Spindle Nose Diagram

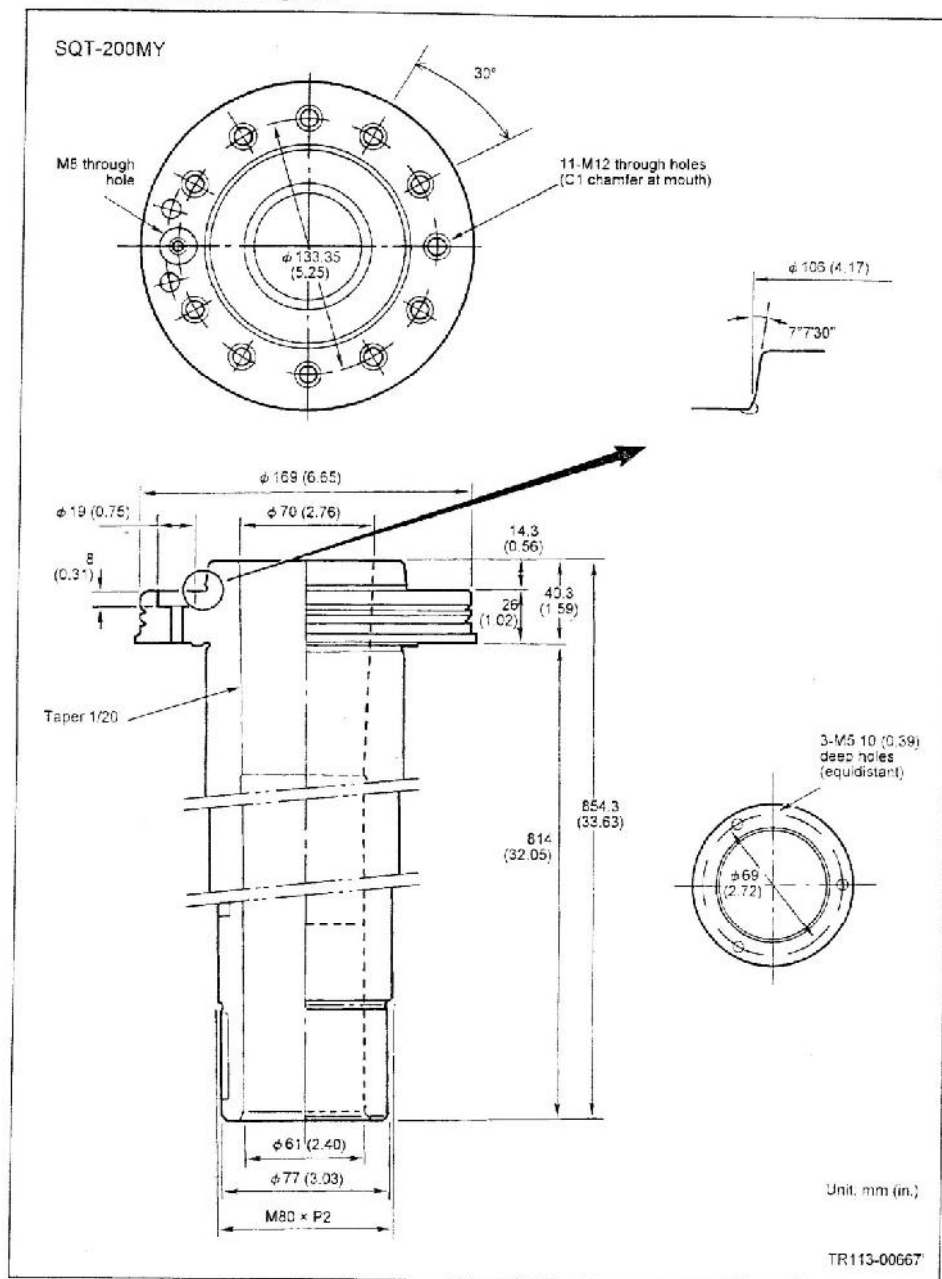


Fig. 1-1 Spindle nose diagram (200MY)

PŘÍLOHA 6 (1/2)

CAMWARE Yamazaki Mazak program 392



ID číslo	9193
Projekt	37
Název obrobku	
Program	392
C. vykresu	
Proces	
Komentář	
NC Typ	TPLUS
CAD soubor	
Objednávka	
Slazka	
Stroj	18 SQT 200MY

Nastroj	Název nas	TNR/Prum	Skupina	Rez. čas	informace
1	NUZ VNE	0.8	0	0:00:36	MWLN 2525 M08, 93/80 WNMG080408 TF IC507 ISCAR
2	NUZ VNE	0.2	0	0:00:09	SDJCL 2525 M11, 93/55 DCMT11T302-F1 CP500 SECO
3	VRT CEL	7.8	0	0:00:38	VRTAK D7,8 TITEX SK Lb=40( kasys jako R840.0780.70 A1A 1220 SANDVIK)
7	VRT CEL	12	0	0:00:26	NAVRTAVAK D12 MAY

čelisti č: LPR51-vysunut 4,3mm  
doraz do vřetene + imbus  
Kusy zarovnat na L=164

tlak:12-15

## PŘÍLOHA 6 (2/2)

### CAMWARE Yamazaki Mazak program 392

[Strana 001] \\NW2KSERVER\CPC\USRA\235 [REDACTED] - Stroj SQT 200MY.018  
 (Projekt: 235, Nazev obrobku: [REDACTED])  
 #00000392 [REDACTED]  
 Datum Úterý 23 Duben 2013 Čas 10:22:19

```

PCis MAT VNE-MAX VNI-MIN DELKA OT PRID-X PRID-Z ZAROV CELA MPX KON-DELKA
0 50. 0. 80. 2700 0.2 0.2 2.6 * *

PCis MOD # 1 # 2 # 3 # 4 # 5 # 6 # 7 # 8 # 9 #10 #11 #12
1M 8

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL H-NASTR F-NASTR
2800 CEL C 50. -2.6 64 138 C.2 1.5 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN C 0.4 * * 20. 1.5 * Drs 4
2LIN C 1.5 * * 0. 0. * Drs 6

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL H-NASTR F-NASTR
+ 3800 CEL C 22. -0.5 82 166 0.2 1.2 2
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN C * * 19.4 1.2 * Drs 7
2LIN C 1.2 * * 0. 0. * Drs 7

PCis MOD # VRT-PRU HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
+ 4VRT CEL 1 12. 4. 3. 3. 25 0.05 7
SEQ POB-Z KOB-Z
1 0. 4.5

PCis MOD # VRT-PRU HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
+ 5VRT CEL 1 7.8 38. 5. 3. 30 0.06 3
SEQ POB-Z KOB-Z
1 0. 34.

PCis MOD # VRT-PRU HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
+ 6VRT CEL 3 8. * * * 9 0.5 9
SEQ POB-Z KOB-Z
1 0. 34.

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
7MAS 1 1
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M CFS
1 9

PCis MOD POCITAT NAVRAT PROG. SOUVISLE POC. POSUN
8END 1 0

```

PŘÍLOHA 7 (1/3)

CAMWARE Yamazaki Mazak program 391

ID číslo	86229
Projekt	37
Název obrobku	
Program	391
C. vykresu	
Proces	
Komentář	
NC Typ	TPLUS
CAD soubor	
Objednávka	
Složka	
Stroj	18 SQT 200MY



Informace			
Nastroj	Název nástroje	Skupina	Rez. čas
1	NUZ VNE	0.8	0 0:00:30 MWLN R 2525 M08, 93/80 WNM G080408 TF IC507 ISCAR
2	NUZ VNE	0.2	0 0:00:06 SDJCL 2525 M11, 93/55 DCMT11T302-F1 CP500 SECO
3	VRT CEL	15	0 0:01:10 VRTAK D14,75 SK KRATKY 140° (PROVÁDÍ NAVRTANÍ PRO DLOUHÝ VRTAK)
4	SFR CEL	16	0 0:01:22 FREZA D16 FETTE PM
5	ZPN VNE	0.2	0 0:00:31 RF151.23-2525-40M1, N151.2-400-5E(šířka 4mm)
6	SFR VNE		0 0:00:20 FREZA D12 FETTE PM
7	NUZ VNI	0.4	0 0:00:21 držák D10, 110/55 DCMT070204-F2 TP40 SECO
8	SFR CEL	16	0 0:00:59 FREZA D16 JABRO SK
9	VRT CEL	15	0 0:04:10 VRTAK TITEX A6585TFT-15 <i>dřívě HSS φ15 (Vc=15 fot=0,07 vybledl)</i>
10	PVR VNE	3	0 0:00:09 NAVRTAVAK D3/90°
11	PVR VNE		0 0:05:45 VRTAK HSS D1,9 TITEX A1244, L=31, VRTACÍ HLAVIČKA 0-4 - měnit vždy po 1 kuse !
12	SFR CEL	12,5	0 0:00:14 OBOUSTRANNÁ SRÁŽEČKA WNT (DEF.PRŮMĚR 12,5 S KOREKCÍ Z-0.3)

0:15:37

čelisti č: LPR 51 vysunut 4,3 tlak:20  
doraz ve vřetení, vysunutí kusu z čelisti 70-71mm  
pro vrták Tltex Vc=31 Fot=0,05 vrták Kennametal Vc=40 Fot=0,07-0,1 - při použití Kennametalu kus vysunut L=85mm - vrták je delší

# PŘÍLOHA 7 (2/3)

## CAMWARE Yamazaki Mazak program 391

[Strana 001] \\NW2KSERVER\CPC\USRA\235\ [REDACTED] \00000391.VDM - Stroj SQT 200MY.018  
{Projekt: 235, Nazev obrobku: [REDACTED]}  
#00000391 [REDACTED]  
Datum Úterý 23 Duben 2013 Čas 10:18:13

```

PCis MAT VNE-MAX VNI-MIN DELKA OT PRID-X PRID-Z ZAROV CELA MPX KON-DELKA
0 50. 0. 160. 2500 0.2 0.1 1. * *

PCis MOD # 1 # 2 # 3 # 4 # 5 # 6 # 7 # 8 # 9 #10 #11 #12
IM 8

PCis MOD HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
22CL CEL 138 0.24 1. 1
SEQ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z DRS
1 50. 1. 0. 0.15

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
3SOU VNE 1 50. 0. 120 50 0.35 2.5 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 41.5 40. * Drs 5
2KUZ 49.4 40. 50. 40.3 Drs 6

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
4SOU VNE 1 50. 39. 120 50 0.35 2.5 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1KUZ 42. 39.5 50. 50. Drs 5

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 5SOU CEL 1 41.5 0. 82 138 0.156 2.7 1 2
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1KUZ 41.45 1.573 36. 0. 30. 0.08.
2LIN R 0.5 * * 0. 0. 0.088

PCis MOD # Cis STCUP SIRKA DOK.PRID HV FV POSUV HL. H-NASTR F-NASTR
+ 6ZAP VNE 2 1 6. 0. 83 63 0.08 1.2 5
SEQ P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ UHEL DRS
1 41.6 8.2 25.7 8.2 0.092

PCis MOD # Cis STCUP SIRKA DOK.PRID HV FV POSUV HL. H-NASTR F-NASTR
+ 7ZAP VNE 2 1 4.5 0. 64 63 0.066 1.2 5
SEQ P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ UHEL DRS
1 41.6 8.2 25.7 8.2 0.101

PCis MOD # VRT-PRU HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
+ 8VRT CEL 1 14.7 56. 2. 2. 30 0.055 3
SEQ POB-Z KOB-Z
1 0. 10.

PCis MOD # VRT-PRU HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
+ 9VRT CEL 1 15. 150. 95. 10. 40 0.07 9
SEQ POB-Z KOB-Z
1 0. 135.

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
10MAS 1 1 6
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M CFS
1 C1 * 1

PCis MOD DRA-SIR HLOUB PRI-1 PRI-2 HV FV H-POSV1 H-POSV2 H-NASTR F-NASTR
11CLE vne 12. 6. 0.2 0.2 44 0 0.3 0.2 6
SEQ TVAR KOB-R/x KOB-Uh/y KOB-Z KOB-Y/C K-SRAZ RADIUS DRS
1SCH 17.8 30. 0. 13.8 * Drs 6
2LIN * * 2. 13.8 * Drs 6

PCis MOD DRA-SIR HLOUB PRI-1 PRI-2 HV FV H-POSV1 H-POSV2 H-NASTR F-NASTR
12CLE vne 12. 6. 0.2 0.2 44 0 0.3 0.2 6
SEQ TVAR KOB-R/x KOB-Uh/y KOB-Z KOB-Y/C K-SRAZ RADIUS DRS
1SCH 17.8 150. 0. 13.8 * Drs 6
2LIN * * 2. 13.8 * Drs 6

PCis MOD DRA-SIR HLOUB PRI-1 PRI-2 HV FV H-POSV1 H-POSV2 H-NASTR F-NASTR
13CLE vne 12. 6. 0.2 0.2 44 0 0.3 0.2 6
SEQ TVAR KOB-R/x KOB-Uh/y KOB-Z KOB-Y/C K-SRAZ RADIUS DRS

```

# PŘÍLOHA 7 (3/3)

## CAMWARE Yamazaki Mazak program 391

```
[Strana 002] \\NW2KSERVER\CPC\USR\235\00000391.VDM - Stroj SQT 200MY.018
(Projekt: 235, Nazev obrobku:
#00000391 ( VE
Datum Úterý 23 Duben2013 Čas 10:18:13
```

```

1SCH 17.8 270. 0. 13.8 * Drs 6
2LIN * * 2. 13.8 * Drs 6

PCis MOD # PRU. HLOUB HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
14PVR VNE 1 3. 1. 8. 3. 3. 20 0.050 11
SEQ TVAR POB-R/x POB-Uh/y POB-Z POB-Y/C STR1/STOUP STR2 POC. UHEL TYP
1KRU 11.8 30. 4. 15.6 * * 3 120. 0

PCis MOD # PRU. HLOUB HL-1 HL-2 HL-3 V POSUV NASTR
15PVR VNE 1 1.8 23.5 1. 0.8 0.2 7 0.020 12
SEQ TVAR POB-R/x POB-Uh/y POB-Z POB-Y/C STR1/STOUP STR2 POC. UHEL TYP
1KRU 11.8 30. 4. 15.6 * * 3 120. 0

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
16MAS 1 1 11
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M OPS
1 01 * 0

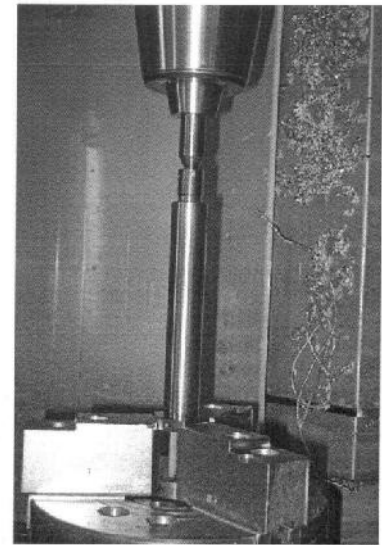
PCis MOD DRA-SIR HLOUB PRI-1 PRI-2 EV FV H-POSV1 H-POSV2 H-NASTR F-NASTR
+17CLE CEL 12. 9. 0.2 0. 72 132 0.245 1.4 4 8
SEQ TVAR KOB-R/x KOB-Uh/y KOB-Z KOB-Y/C K-SRAZ RADIUS DRS
1SCH 20.727 0. 0. * * * * 2.
2LIN 20.727 300. * * R 0.5 * 0.11
3LIN 20.727 240. * * R 0.5 * 0.11
4LIN 20.727 180. * * R 0.5 * 0.11
5LIN 20.727 120. * * R 0.5 * 0.11
6LIN 20.727 60. * * R 0.5 * 0.11
7LIN 20.727 0. * * R 0.5 * 0.11
8LIN 18.1 330. * * R 0.5 * 0.11

PCis MOD DRA-SIR HLOUB PRI-1 PRI-2 HV FV H-POSV1 H-POSV2 H-NASTR F-NASTR
+18CLE CEL 12. 10.5 0. 8. 28 104 0.15 1.5 10
SEQ TVAR KOB-R/x KOB-Uh/y KOB-Z KOB-Y/C K-SRAZ RADIUS DRS
1SCH 24. 30. 0. * * * * 2.
2LIN 20.727 0. 0. * R 0.5 * 0.4
3LIN 20.727 300. * * R 0.5 * 0.4
4LIN 20.727 240. * * R 0.5 * 0.4
5LIN 20.727 180. * * R 0.5 * 0.4
6LIN 20.727 120. * * R 0.5 * 0.4
7LIN 20.727 60. * * R 0.5 * 0.4
8LIN 20.727 0. * * R 0.5 * 0.4
9LIN 24. 330. * * R 0.5 * 0.4

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSV H-HL. H-NASTR F-NASTR
19SCU VNI 1 13.5 0. 48 28 0.24 0.5 7
```

PŘÍLOHA 8 (1/3)

CAMWARE Yamazaki Mazak program 393



ID číslo	9194
Projekt	37
Nazev obrobku	
Program	393
C. vykresu	
Proces	
Komentar	27 F575 70840 3.
NC Typ	TPLUS
CAD soubor	
Objednavka	
Slozka	
Stroj	18 SQT 200MY

Nastroj	Nazev nas	TNR/Prum	Skupina	Rez. cas	informace
1	NUZ VNE	0.8	0	0:06:31	MWLN 2525 M08, 93/80 WNMG080408PM 4235 SANDVIK
2	NUZ VNE	0.4	0	0:02:05	SDJCL 2525 M11, 93/55 DCMT11T304 AS IC520 ISCAR
5	NUZ VNE	0.4	0	0:00:34	SVJCR 2525 M16, 93/30 VBMT160404 MM2025
5A	NUZ VNE	0.4	0	0:00:18	SVJCR 2525 M16, 93/30 VBMT160404 MM2026
6	SZV VNE		0	0:00:28	SETHR 2525 M16,MMT 16ER160UNJ VP10MF (MITSUBISHI)
10	PVR VNE	2	0	0:00:41	NAVRTAVAK ČSN A2
11	PVR VNE	2.1	0	0:01:45	VRTAK D2,1 SK(vrtá do hloubky 6mm)

čelisti č: 3 vysunut 5mm  
není nutno podepírat přes pomocný čep, začítit otlaky na šestihranu

tlak: 12  
koník tlak:100

# PŘÍLOHA 8 (2/3)

## CAMWARE Yamazaki Mazak program 393

```

[Strana 001] \\NW2KSERVER\CPC\USR\235\00000393.VDM - Stroj SQT 200MY.018
{Projekt: 235, Nazev obrobku: }
#00000393 { }
Datum Úterý 23 Duben2013 Čas 10:22:53
-----
PCis MAT VNF-MAX VNI-MIN DELKA OT PRID-X PRID-Z ZAROV CELA MPX KON-DELKA
0 50. 0. 164. 3500 0.25 0.05 0. * *

PCis MOD # 1 # 2 # 3 # 4 # 5 # 6 # 7 # 8 # 9 #10 #11 #12
1M 31 8

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 2SCU VNE 0 50. 0. 88 165 0.369 2. 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 42. 126. * DRS 6

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 3SCU VNE 0 42. 0. 85 165 0.347 2.5 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 19.05 20.9 * DRS 6
2KUZ C 0.5 25.55 20.9 25.55 151.5 DRS 6

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 4SCU CEL 0 42. 152. 85 0 0.09 4. 1
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 25.8 155.9 * DRS

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
5MAS 1 1 2
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M OFS
1 0

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 6SCU VNE 0 28. 0. 80 135 0.35 1.5 2
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 19.05 20.9 * 0.1
2KUZ C 0.55 25.4 20.9 25.355 155. 0.129

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
7MAS 1 1 2
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M OFS
1 1

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+ 8SCU CEL 1 42. 155. 82 150 0.26 2.7 2
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 26.5 155.95 * 0.1

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
9MAS 1 1 2
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M OFS
1 0

PCis MOD # PRB-X PRB-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+10SCU VNE 0 28. 0. 80 150 0.35 1.5 10
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1LIN * * 19.05 20.9 * 0.1
2KUZ C 0.55 25.4 20.9 25.365 155. 0.068

PCis MOD BOD-VYMENY PREVOD NASTR
11MAS 1 1 10
SEQ G DATA-1 DATA-2 DATA-3 RADIUS/PROMENL OT POSUV M OFS
1 0

PCis MOD PRB-X PRB-Z SRV-X ZABER-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+12KOP VNE 26. 16.2 1. 0.15 60 49 0.072 0.5 5 5
SEQ TVAR P-SRAZ POB-X POB-Z KOB-X KOB-Z K-SRAZ/$ RADIUS/A DRS
1KUZ 19.1 16.245 16.79 17.4 -45. 0.07
2LIN R 1. * * 16.79 21. R 1. * 0.07
3KUZ 16.79 21. 25.4 21. 0.07

PCis MOD PRB-X PRB-Z SRV-X ZABER-Z HV FV H-POSUV H-HL. H-NASTR F-NASTR
+13KOP VNE 42. 152. 0.4 0.15 70 67 0.1 0.5 5 5A

```



# PŘÍLOHA 8 (3/3)

## CAMWARE Yamazaki Mazak program 393

[Strana 002] \\NW2KSERVER\CPC\USRA\235\ [REDACTED] \00000393.VDM - Stroj SQT 200MY.010  
 (Projekt: 235, Nazev obrobku: [REDACTED])  
 #00000393 ([REDACTED])  
 Datum Úterý 23 Duben 2013 Čas 10:22:53

SEQ	TVAR	P-SRAZ	POB-X	POB-Z	KOB-X	KOB-Z	K-SRAZ/S	RADIUS/A	DRS
1	KUZ		25.7	152.94	24.7	154.806		-15.	0.07
2	LIN R 0.6		*	*	24.7	156.	R 0.6	*	0.07
3	KUZ		24.7	156.	42.	156.			0.1

PCis	MOD	#	VYB.	STOUP	UHEL	CHOD	HLZ	POCET	V	HLOUB	NASTR
+14	SZV	VNE	0	0	1.5875	59	1	1.031	12	30	0.294
SEQ					POB-X	POB-Z	KOB-X	KOB-Z			
1					19.05	0.	19.05	20.			

PCis	MOD	BOD-VYMENY	PREVOD	NASTR
15	MAS	1	1	11
SEQ	G	DATA-1	DATA-2	DATA-3
1	02			

PCis	MOD	#	PRU.	HLOUB	HL-1	HL-2	HL-3	V	POSUV	NASTR
+16	PVR	VNE	1	6.	2.2	2.5	3.	3.	15	0.020
SEQ	TVAR	POB-R/x	POB-Uh/y	POB-Z	POB-Y/C	STR1/STOUP	STR2	POC.	UHEL	TYP
1	KRU	9.5	0.	5.	0.	*	*	2	180.	0
2	KRU	9.5	90.	3.5	0.	*	*	2	180.	0

PCis	MOD	#	PRU.	HLOUB	HL-1	HL-2	HL-3	V	POSUV	NASTR
+17	PVR	VNE	1	2.1	5.	5.	1.3	0.5	8	0.015
SEQ	TVAR	POB-R/x	POB-Uh/y	POB-Z	POB-Y/C	STR1/STOUP	STR2	POC.	UHEL	TYP
1	KRU	9.5	0.	5.	0.	*	*	2	180.	0
2	KRU	9.5	90.	3.5	0.	*	*	2	180.	0

PCis	MOD	BOD-VYMENY	PREVOD	NASTR
18	MAS	1	1	5
SEQ	G	DATA-1	DATA-2	DATA-3
1				

PCis	MOD	FRB-X	FRB-Z	SRV-X	ZABER-Z	HV	EV	H-POSUV	H-HL	H-NASTR	F-NASTR
+19	KOP	VNE	26.	16.2	1.	0.15	100	57	0.05	0.5	5
SEQ	TVAR	P-SRAZ	POB-X	POB-Z	KOB-X	KOB-Z	K-SRAZ/S	RADIUS/A	DRS		
1	KUZ		19.1	16.245	16.79	17.4		-45.			
2	LIN R 1.		*	*	16.79	21.	R 1.	*			
3	KUZ		16.79	21.	25.4	21.					

PCis	MOD	#	VYB.	STOUP	UHEL	CHOD	HLZ	POCET	V	HLOUB	NASTR
+20	SZV	VNE	0	0	1.5875	59	1	1.031	7	30	0.294
SEQ					POB-X	POB-Z	KOB-X	KOB-Z			
1					19.05	0.	19.05	20.			

PCis	MOD	BOD-VYMENY	PREVOD	NASTR
21	MAS	1	1	10
SEQ	G	DATA-1	DATA-2	DATA-3
1	01			

PCis	MOD	POCITAT	NAVRAT	PROG.	SOUVISLE	POC.	POSUN
22	END	1	0				